

**PENGARUH *BENDING OVERLOAD* DAN PANJANG RETAK SAAT  
*OVERLOAD* TERHADAP UMUR POROS PEJAL**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK KONSTRUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:  
**KHAIRUL ANAM**  
**NIM. 0410620057-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**JURUSAN MESIN**

**MALANG**

**2009**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGARUH *BENDING OVERLOAD* DAN PANJANG RETAK SAAT  
*OVERLOAD* TERHADAP UMUR POROS PEJAL**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK KONSTRUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:  
**KHAIRUL ANAM**  
NIM. 0410620057-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Anindito Purnowidodo, ST, M. Eng, Dr. Eng.**  
NIP. 19710310 1998021 001

**Ir. Ari Wahjudi, MT**  
NIP. 19680324 199412 001

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PEGARUH *BENDING OVERLOAD* DAN PANJANG RETAK SAAT *OVERLOAD*  
TERHADAP UMUR POROS PEJAL**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK KONSTRUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**KHAIRUL ANAM  
NIM. 0410620057-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 2 Februari 2010

Skripsi 1

Skripsi 2

Ir. Winarno Yahdi Atmojo, MT  
NIP.19460804 198303 1 001

Ir. Bardji Hadi Pranoto  
NIP. 19450714 198103 1 003

Komprehensif

Ir. Handono Sasmito, M.Eng  
NIP. 19480216 198003 1 001

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST. MT  
NIP.19720903 199702 1 001

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah senantiasa kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufiq serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Pengaruh *Bending Overload* dan Panjang Retak saat *Overload* terhadap Umur Poros Pejal**” sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik. Tidak lupa shalawat serta salam kami haturkan kepada Rasulullah Muhammad SAW.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesaikannya skripsi ini, terutama kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M. Eng. , selaku Sekretaris Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Dr. Ir. Pratikto, MMT., selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Konstruksi, Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya.
4. Bapak Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST, M. Eng. dan Ir. Ari Wahjudi, MT, selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan, dan saran yang konstruktif dalam menyusun skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua terutama warga Teknik Mesin.

Malang, 19 Januari 2010

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	viii
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	ix
<b>RINGKASAN</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1. Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2. Mekanika Patahan ( <i>Fracture Mechanics</i> ).....	4
2.2.1. <i>Fatigue</i> .....	5
2.2.2. Mode Buka Retak.....	6
2.2.3. Faktor Intensitas Tegangan.....	6
2.3. Retakan Suatu Struktur Material.....	9
2.3.1. Perilaku Rambat Retak .....	9
2.3.2. Laju Perambatan Retak.....	10
2.4. Proses Pembebanan Siklus Saat Rambat Retak.....	13
2.4.1. Pembebanan Siklus Bervariasi.....	13
2.4.2. Pengaruh Overload .....	14
2.4.3. Pengaruh <i>Residual Stress</i> .....	14
2.4.4. Pengaruh <i>Plastic Zone</i> .....	15
2.5. Tegangan <i>Bending</i> pada <i>Beam</i> .....	16
2.6. Hipotesis .....	19

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	20
3.1. Metode Penelitian .....	20
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian.....	20
3.3. Variabel Penelitian.....	20
1. Variabel Bebas .....	20
2. Variabel Terikat .....	20
3. Variabel Tetap.....	21
3.4. Alat-alat Penelitian .....	21
3.4.1. Peralatan yang Digunakan .....	21
3.4.2. Bahan yang Digunakan.....	23
3.5. Pelaksanaan Penelitian.....	23
3.5.1. Penyusunan Alat Penelitian .....	23
3.5.2. Prosedur Penelitian .....	24
3.5.3. Pengamatan dan Pengukuran Pertumbuhan Retak .....	25
3.6. Rancangan Penelitian.....	25
3.7. Diagram Alir Penelitian.....	27
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	29
4.1. Hasil.....	29
4.1.1. Hubungan antara jumlah siklus dengan panjang retak .....	29
4.1.2. Hubungan antara panjang retak dengan kecepatan retak ( $da/dN$ ) .....	30
4.1.3. Hubungan antara faktor intensitas tegangan maksimum ( $K_{max}$ ) dengan kecepatan retak ( $da/dN$ ).....	31
4.1.4. Hubungan antara beban <i>bending</i> dengan jumlah siklus <i>delay</i> pada panjang retak saat <i>overload</i> 1,15 mm dan 1,65 mm.....	32
4.1.5. Bentuk patahan pada poros pejal hasil pengujian .....	33
4.1.6. Pola retakan pada poros pejal hasil pengujian .....	35
4.1.7. Data hasil perhitungan .....	37
4.2. Pembahasan .....	40
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	43
5.1 Kesimpulan.....	43



**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



## DAFTAR TABEL

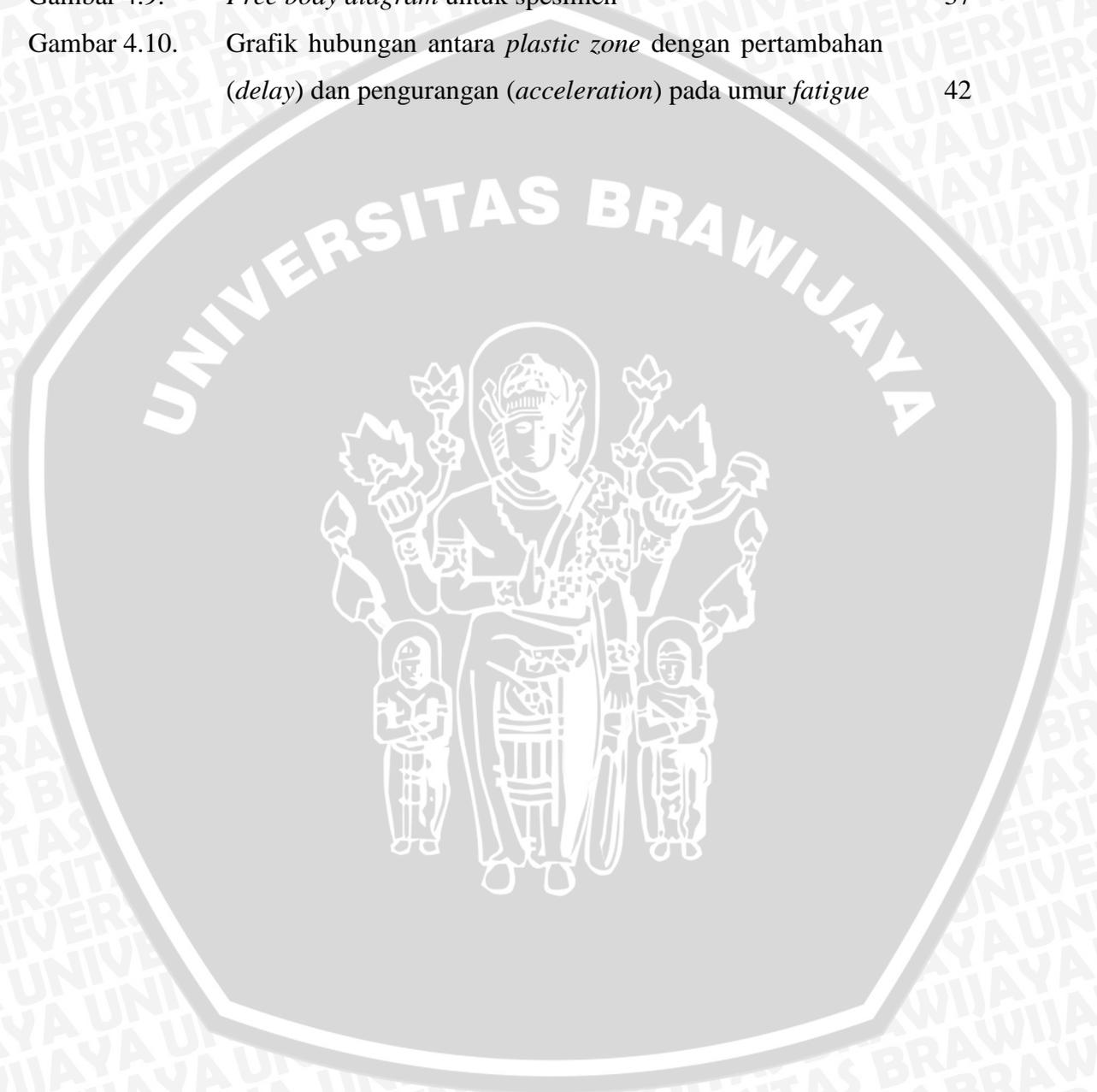
No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1.	Contoh tabel pengambilan data panjang retak pada poros pejal	25
Tabel 4.1.	Sampel data untuk perhitungan	37



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Mode bukaan retak	6
Gambar 2.2.	Sistem koordinat di daerah ujung retak	6
Gambar 2.3.	Faktor intensitas tegangan	8
Gambar 2.4.	Masalah pada mekanika	9
Gambar 2.5.	Hubungan panjang retak dan siklus pembebanan konstan ( $S$ )	10
Gambar 2.6.	Perilaku rambat retak setelah <i>overload</i>	10
Gambar 2.7.	Kurva pertumbuhan retak	11
Gambar 2.8.	Siklus beban berulang konstan	13
Gambar 2.9.	Siklus beban berulang acak	13
Gambar 2.10.	Siklus pembebanan dengan <i>overload</i> dan <i>underload</i>	14
Gambar 2.11.	Sifat material akibat pengaruh tegangan sisa	15
Gambar 2.12.	<i>Plastic zone</i> di ujung retak	15
Gambar 2.13.	Tegangan <i>bending</i> pada <i>beam</i>	16
Gambar 2.14.	Tegangan <i>bending</i> pada <i>beam</i>	17
Gambar 2.15.	Momen inersia dari beberapa bentuk	18
Gambar 2.16.	<i>Free body</i> diagram untuk spesimen	18
Gambar 3.1.	<i>Rotary Bending Machine</i>	21
Gambar 3.2.	<i>Converter</i>	22
Gambar 3.3.	<i>Smart Relay</i>	22
Gambar 3.4.	Benda kerja	23
Gambar 3.5.	Skema instalasi alat pengujian	23
Gambar 3.6.	Diagram alir penelitian	28
Gambar 4.1.	Grafik hubungan antara jumlah siklus dengan panjang retak	29
Gambar 4.2.	Grafik hubungan antara panjang retak dengan kecepatan retak ( $da/dN$ )	30
Gambar 4.3.	Grafik Hubungan antara faktor intensitas tegangan ( $\Delta K$ ) dengan kecepatan retak ( $da/dN$ )	31
Gambar 4.4.	Grafik hubungan antara beban bending dengan jumlah siklus <i>delay</i> pada panjang retak saat <i>overload</i> 1,15 mm dan	

	1,65 mm	32
Gambar 4.5.	Bentuk patahan hasil pengujian	33
Gambar 4.6.	Bentuk patahan hasil pengujian	33
Gambar 4.7.	Pola retakan hasil pengujian	35
Gambar 4.8.	Proses perambatan retak	36
Gambar 4.9.	<i>Free body diagram</i> untuk spesimen	37
Gambar 4.10.	Grafik hubungan antara <i>plastic zone</i> dengan penambahan ( <i>delay</i> ) dan pengurangan ( <i>acceleration</i> ) pada umur <i>fatigue</i>	42



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Tegangan bending ( $S_b$ )
Lampiran 2	Data hasil pengujian dan perhitungan untuk specimen tanpa <i>overload</i>
Lampiran 3	Data hasil pengujian dan perhitungan untuk spesimen dengan <i>bending overload</i> 70 N dan panjang retak saat <i>overload</i> 1,15 mm
Lampiran 4	Data hasil pengujian dan perhitungan untuk spesimen dengan <i>bending overload</i> 70 N dan panjang retak saat <i>overload</i> 1,65 mm
Lampiran 5	Data hasil pengujian dan perhitungan untuk spesimen dengan <i>bending overload</i> 105 N dan panjang retak saat <i>overload</i> 1,15 mm
Lampiran 6	Jumlah siklus <i>delay</i> untuk berbagai macam perlakuan



## DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan singkatannya	Simbol
Diameter Spesimen	milimeter atau mm	$D$
Faktor Dimensi		$F$
Faktor Intensitas Tegangan	MPa $\sqrt{m}$	$K$
Frekuensi	Hertz atau Hz	$f$
Gaya Bending	Newton atau N	$W$
Konstanta Material		$C, m$
Laju Perambatan Retak	mm/siklus	$da/dN$
Luas	mm <sup>2</sup>	$A_0$
Momen Inersia	mm <sup>4</sup>	$I$
Momen Maksimum	N.mm	$M_{max}$
Panjang	mm	$L$
Panjang Retak	mm	$a$
Plastic Zone	mm	$r_0$
Rasio Tegangan		$R$
Tegangan	Mega Pascal atau MPa	$S, \sigma$
Tegangan Yield	Mega Pascal atau MPa	$\sigma_y$



## RINGKASAN

**Khairul Anam**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Februari 2009, *Pengaruh Bending Overload dan Panjang Retak Saat Overload terhadap Umur Poros Pejal*, Dosen Pembimbing: Anindito Purnowidodo, ST, M. Eng, Dr. Eng. dan Ir. Ari Wahjudi, MT.

Sampai sejauh ini beberapa teori telah mengasumsikan bahwa tegangan yang diberikan kepada suatu struktur atau komponen adalah konstan baik besar maupun arahnya. Akan tetapi, yang terjadi dalam kenyataannya mungkin tidak demikian. Struktur dan komponen dalam rekayasa mungkin mengalami tegangan yang baik besar maupun arahnya berubah-ubah. Sehingga banyak komponen logam yang rusak akibat kondisi diatas yang disebut *fatigue failure*. Hampir semua komponen yang mengandung cacat atau retak pada materialnya mengalami siklus pembebanan yang bervariasi (Stephen et al., 2001). Cacat ini biasa disebut dengan retak *fatigue*. Skinner (2001) menunjukkan bahwa kegagalan yang diakibatkan oleh *fatigue* mencapai 50 sampai 90 persen dari semua kegagalan yang terjadi pada sebuah mekanisme mekanik.

Permasalahan yang akan diteliti adalah bagaimana pengaruh *bending overload* dan panjang retak saat *overload* terhadap umur poros pejal. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen nyata yaitu pengujian *fatigue* pada baja karbon *ST 70* dengan parameter yang dipakai adalah tanpa *bending overload*, *bending overload* sebesar 70 dan 105 N sebagai variabel bebas, panjang retak dan kecepatan rambat retak ( $da/dN$ ) sebagai variabel terikat dan variabel terkontrol yang digunakan adalah jumlah siklus yang diberikan saat pembebanan normal tiap 50.000 siklus, saat *overload* sebanyak 15.000 siklus, panjang retak saat *overload* adalah 1,15 mm dan 1,65 mm. Data yang diperoleh diolah menggunakan analisis grafik dan teoritis.

Dari hasil pengamatan dan analisa grafik hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa pemberian *bending overload* yang diberikan dengan variasi panjang retak saat *overload* akan mempengaruhi *plastic zone* (daerah plastis) di ujung retak dan tegangan sisa yang terjadi. Semakin besar *plastic zone* maka penambahan umur *fatigue* juga akan semakin besar dan terjadinya tegangan sisa tekan (*Compressive Residual stress*) maka umur *fatigue* juga akan bertambah. Hal ini dikarenakan adanya perlambatan laju perambatan retak ( $da/dN$ ). Selain itu, berbagai tingkatan *overload* akan mempengaruhi besar jumlah siklus *delay*. Jumlah siklus *delay* yang paling lama dengan *bending overload* 70 N dan panjang retak saat *overload* 1,65 mm yaitu sebesar 900000 siklus. Oleh sebab itu, *bending overload* yang diberikan dengan variasi panjang retak saat *overload* akan mempengaruhi umur poros pejal. Umur poros pejal yang paling lama dengan *bending overload* 70 N dan panjang retak saat *overload* 1,65 mm yaitu 4015000 siklus.

**Kata kunci** : *Overload*, Panjang Retak, Umur *Fatigue*, Siklus *Delay*, *Plastic Zone*, Tegangan sisa.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sampai sejauh ini beberapa teori telah mengasumsikan bahwa tegangan yang diberikan kepada suatu struktur atau komponen adalah konstan baik besar maupun arahnya. Akan tetapi, yang terjadi dalam kenyataannya mungkin tidak demikian. Struktur dan komponen dalam rekayasa mungkin mengalami tegangan yang baik besar maupun arahnya berubah-ubah. Sehingga banyak komponen logam yang rusak akibat kondisi diatas yang disebut *fatigue failure*. Hampir semua komponen yang mengandung cacat atau retak pada materialnya mengalami siklus pembebanan yang bervariasi (Stephen : 2001). Cacat ini biasa disebut dengan retak *fatigue*. Skinner (2001) menunjukkan bahwa kegagalan yang diakibatkan oleh fatigue mencapai 50 sampai 90 persen dari semua kegagalan yang terjadi pada sebuah mekanisme mekanik. Beberapa metode telah digunakan untuk mengetahui perambatan retak, salah satunya adalah yang dilakukan oleh Griffith dan Irwin yang dikenal dengan teori *energy release rate* yang menyatakan bahwa sebuah retak hanya dapat berkembang jika energi yang dimiliki oleh material lebih rendah dibandingkan dengan energi yang dimiliki retak untuk berkembang (Bannantine : 1990).

Kegagalan yang diakibatkan oleh *fatigue* telah diketahui sejak tahun 1850 ketika Sir William Fairbairn (rekayasawan inggris) menemukan bahwa sebatang gelagar baja yang semestinya mampu menahan beban statik hingga 12 ton selama waktu yang tidak terbatas, ternyata telah gagal akibat suatu beban berulang yang hanya 3 ton gaya tetapi dialami sebanyak 3 juta kali. Di dunia industri saat ini, fenomena seperti diatas banyak terjadi pada komponen berbentuk silindris, misalnya poros pejal (*solid round bar*), seperti pada poros roda kendaraan bermotor, rotor turbin pesawat dan pada industri gula, misalnya poros mollen roll untuk penggilingan gula.

Pada proses pembebanan berulang terdapat beberapa hal yang dapat mempengaruhi perkembangan retak *fatigue*, diantaranya adalah frekuensi putaran, jumlah siklus dan besar pembebanan yang diberikan pada material. Beban siklus yang diterima oleh spesimen retak menimbulkan deformasi plastis terutama pada daerah yang terkena intensitas tegangan yang lebih tinggi, daerah ini umumnya berada di daerah ujung retak. Irwin menjelaskan bahwa daerah plastis pada ujung retak berbentuk lingkaran dan besarnya sangat ditentukan oleh faktor intensitas tegangan yang diterima

material. Sedangkan Dugdale mengasumsikan bahwa deformasi plastis terkonsentrasi pada suatu bidang di daerah ujung retak. (Bannantine: 1990).

Variasi *bending overload* dan panjang retak saat *overload* pada poros pejal yang mengalami pembebanan siklus dapat menyebabkan perilaku plastisitas yang berbeda di daerah ujung retak yang juga akan berpengaruh pada laju perambatan retak, sehingga berpengaruh juga terhadap umur poros pejal yang menerima beban siklus tersebut. Berdasarkan permasalahan ini, maka diperlukan penelitian untuk mengetahui pengaruh besar *bending overload* dan panjang retak saat *overload* terhadap umur poros pejal. Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan *rotary bending machine* dimana pembebanan yang diberikan berupa beban *bending*.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka rumusan masalahnya adalah bagaimana pengaruh *bending overload* dan panjang retak saat *overload* terhadap umur poros pejal?

### 1.3 Batasan Masalah

Pada pembahasan terhadap rumusan masalah diatas, penulis menentukan beberapa batasan dan asumsi dalam mengadakan analisa, antara lain :

1. Diasumsikan bahwa tidak terdapat korosi pada spesimen.
2. Analisis dilakukan pada daerah II (*crack propagation*) yaitu saat mengalami *bending overload* dan pada mode I (*opening mode*).
3. Retak sudah terinisiasi dalam ukuran *short crack* sebesar 0,75 mm.
4. Frekuensi putaran sebesar 10 Hz.
5. Beban normal yang diberikan adalah 35 N.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari skripsi ini adalah :

”Mengetahui pengaruh *bending overload* dan panjang retak saat *overload* terhadap umur poros pejal”

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Dengan adanya penelitian ini, bisa dilakukan proses analisis terhadap material yang mengalami kegagalan akibat kelelahan (*fatigue*).
2. Sebagai acuan dalam memprediksi umur material serta perilaku pertumbuhan retak.
3. Serta menjadi dasar acuan agar dapat dilakukan penelitian selanjutnya.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Anindito Purnowidodo (2004) melakukan penelitian dengan judul “Hubungan Kondisi Tegangan Sisa dan Rambat Retak Transien di Depan Ujung Retak setelah *Overload* pada Silinder Pejal”. Penelitian rambat retak pada silinder pejal ini dilakukan dengan cara eksperimen, pengamatan perilaku rambat retak setelah siklus berulang *bending overload* dilakukan dengan mengamati retak yang merambat pada permukaan spesimen yang berbentuk silinder pejal dengan diameter 9 mm. Tingkatan *overload* yang digunakan adalah masing-masing 200, 230 dan 250 MPa. Tegangan maksimum untuk siklus konstan adalah 100 MPa. dengan rasio tegangan,  $R = -1$ . Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa terdapat perbedaan perilaku rambat retak antara *specimen* tanpa *overload* dan dengan *overload*. Perambatan retak transien setelah *overload* dipengaruhi oleh tingkatan *overload*, besar jumlah siklus *delay* tergantung dari tingkatan *overload*, dan besar jumlah siklus *delay* tergantung dari besar tegangan tekan sisa yang terjadi di sekitar ujung retak setelah *overload*.

Adiwira Al Fatah (2009) melakukan penelitian dengan judul ”Analisa Faktor Intensitas Tegangan Efektif di daerah Ujung Retak Akibat *Bending Overload* dengan Variasi Panjang Retak pada Silinder Pejal”. Penelitian ini dilakukan untuk mengamati faktor intensitas tegangan efektif setelah *overload* pada silinder pejal. Pengamatan dilakukan pada pembebanan siklus bervariasi (konstan-*overload*-konstan) 13 *load step* dengan panjang retak 3, 4, dan 5 mm pada spesimen dengan diameter 8 mm, dengan bantuan *software ANSYS*. Hasil pengamatan menunjukkan nilai faktor intensitas tegangan efektif lebih kecil daripada faktor intensitas tegangan maksimum sebelum *overload*, tapi makin berimpit pada panjang retak yang lebih besar. Hal ini menjelaskan bahwa perlambatan retak hanya terjadi sementara dan kecenderungan kembali pada tegangan awal saat beban dikembalikan pada kondisi konstan.

#### 2.2 Mekanika Patahan (*Fracture Mechanics*)

Metode *Fracture Mechanics* (Mekanika Patahan) berdasarkan pada asumsi dasar bahwa semua struktur baik yang baru ataupun sudah lama memiliki cacat. Cacat ini dapat berbentuk ketidakaturan material, seperti *inklusi* (kekosongan) atau *void* (penyisipan), atau dapat juga terjadi pada saat proses manufaktur. Sebuah goresan pada

lapisan dalam dari sebuah lubang disebabkan karena mata bor mesin *drill* yang sudah aus (tidak tajam) adalah salah satu contohnya. Struktur yang sedang beroperasi juga dapat mengalami cacat dari lingkungan dan pelaksanaan perawatan. Prosedur manufaktur dan perawatan diatur dengan ketat pada industri-industri struktur seperti industri pesawat terbang untuk menghindari terjadinya cacat, terutama di sekitar daerah yang mengalami konsentrasi tegangan. Bagaimanapun juga tetap dianggap bahwa cacat itu pasti terjadi.

### 2.2.1 Fatigue

*Fatigue* (kelelahan) pada logam dapat diartikan sebagai patahnya logam akibat pembebanan berulang dalam sejumlah siklus. Menurut ASTM (*American Society of Testing Material*), *fatigue* didefinisikan sebagai proses perubahan yang progresif pada struktur secara permanen di lokasi tertentu atau terlokalisir yang disebabkan oleh siklus beban berulang (*stress* atau *strain*), dengan akumulasi dari perubahan ini akan mengakibatkan retak (*crack*) ataupun patah (*fracture*). Proses terjadinya kelelahan melalui tiga kejadian, yaitu :

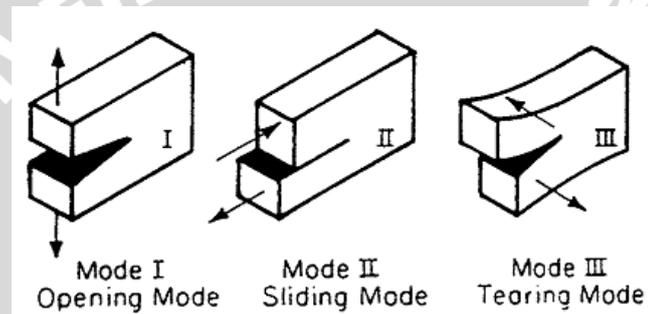
1. Naiknya tegangan pada daerah retak yang dapat menimbulkan adanya konsentrasi tegangan yang kemudian akan terjadi bentuk plastis. Kemudian terjadi retak mikro pada daerah tersebut.
2. Retak mikro akan berkembang dan jika pembebanan berulang diteruskan, retak akan merambat.
3. Setelah retak merambat cukup jauh, maka beban yang bekerja hanya akan didukung oleh penampang sisa yang belum retak dan akhirnya terjadi *final fracture*.

Pada dasarnya retak dibagi menjadi 3, yaitu :

1. *Physically Short Crack*, pada tipe ini ukuran retakan lebih kecil bila dibandingkan dengan ukuran butiran.
2. *Mechanically Short Crack*, retak yang merambat pada daerah plastis. Pada tipe ini, radius plastis lebih besar daripada panjang retak.
3. *Long Crack*, pada tipe ini panjang retak yang terjadi mempunyai ukuran yang lebih panjang daripada radius plastis yang terbentuk pada ujung retak.

### 2.2.2 Mode Bukaannya Retak

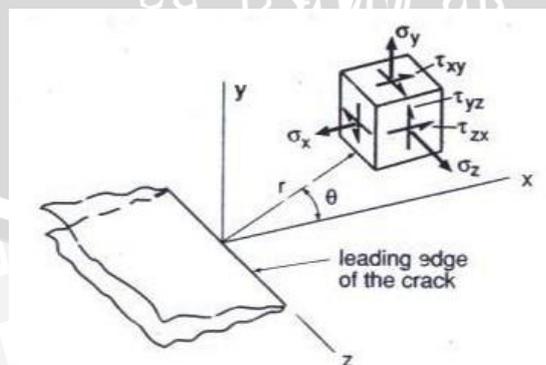
Fenomena perkembangan dan pembukaan retak dapat terjadi dalam berbagai bentuk. Berdasarkan beban yang bekerja pada material, bukaan retak ini dapat digolongkan ke dalam tiga mode bukaan, yaitu mode I, mode II dan mode III sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 2.1. Retak mode I (*opening mode*) merupakan retak akibat beban normal atau beban bekerja tegak lurus pada bidang retak. Retak mode II (*sliding mode*) merupakan retak akibat beban geser yang bekerja pada material. Pada mode ini retak berkembang sejajar dengan gaya-gaya utama yang menyebabkan keretakan. Retak mode III (*tearing mode*) merupakan retak yang diakibatkan oleh gaya puntir yang mengarah keluar bidang retak. Kombinasi dari ketiga mode retak tersebut juga dapat terjadi.



Gambar 2.1. Mode bukaan retak  
Sumber: Broek, D, 1978 : 8

### 2.2.3 Faktor Intensitas Tegangan

Faktor intensitas tegangan digunakan dalam mekanika patahan suatu material agar lebih akurat dalam memprediksi intensitas tegangan yang terjadi di ujung retak yang disebabkan oleh pemberian beban atau tegangan sisa.



Gambar 2.2. Sistem koordinat di daerah ujung retak  
Sumber: Dowling, Norman E., 1998 : 297

Gambar 2.2 diatas menggambarkan tegangan di daerah ujung retak. Koordinat polar  $r$  dan  $\theta$  berada pada koordinat  $x - y$  yang mana tegak lurus dengan retak dan sumbu  $z$  sejajar dengan tepi retak. Distribusi tegangan pada pembebanan mode I, dimana tegangan di dekat ujung retak tergantung pada  $r$  dan  $\theta$  adalah sebagai berikut :

$$\sigma_x = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[ 1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] + \dots \quad \text{Dowling, Norman E. : 298} \quad (2-1)$$

$$\sigma_y = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[ 1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] + \dots \quad \text{Dowling, Norman E. : 298} \quad (2-2)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[ \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \right] + \dots \quad \text{Dowling, Norman E. : 298} \quad (2-3)$$

Dimana untuk kondisi *plane strain* atau *plane stress*, dapat diambil bahwa

$$\sigma_z = \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0 \rightarrow (\text{plane stress}) \quad \text{Dowling, Norman E. : 298} \quad (2-4)$$

$$\sigma_z = \mu (\sigma_x + \sigma_y) \rightarrow (\text{plane strain; } \varepsilon_z = 0) \quad \text{Dowling, Norman E. : 298} \quad (2-5)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{yz} = 0 \quad \text{Dowling, Norman E. : 298} \quad (2-6)$$

Pada dasarnya,  $K_I$  diukur dengan adanya perambatan retak, sehingga rumus matematikanya adalah :

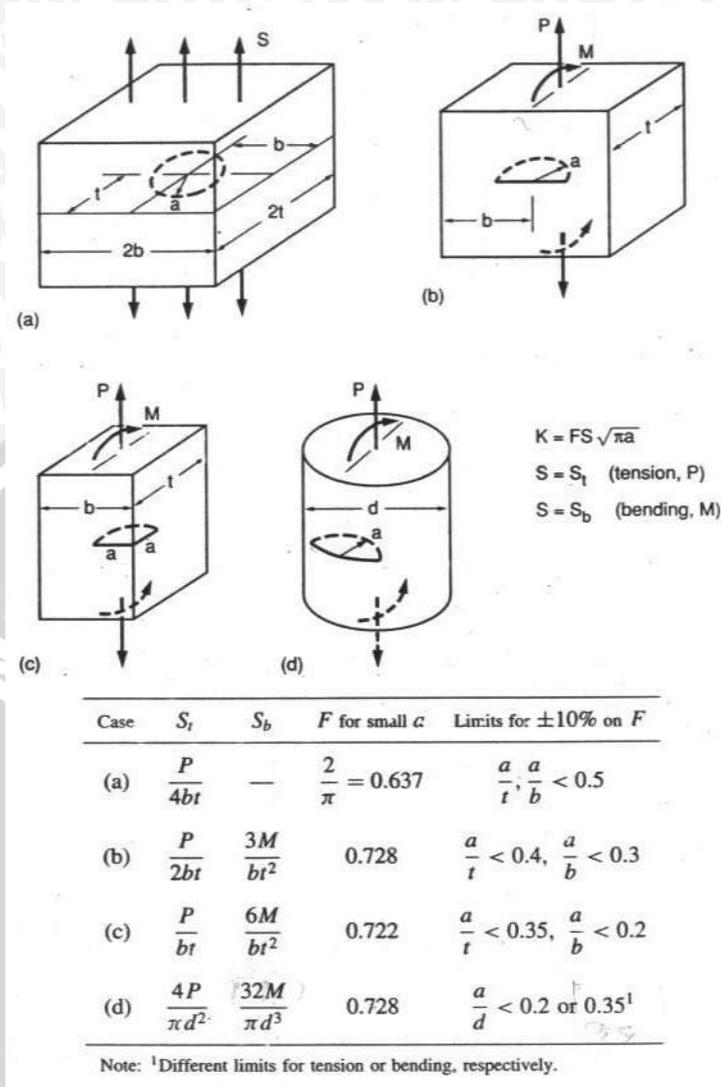
$$K_I = r, \theta \lim_{r \rightarrow 0} (\sigma_y \sqrt{2\pi r}) \quad \text{Dowling, Norman E. : 298} \quad (2-7)$$

Secara umum, faktor intensitas tegangan dapat dirumuskan sebagai :

$$K_I = FS \sqrt{\pi a} \quad \text{Dowling, Norman E. : 298} \quad (2-8)$$

Keterangan :  
 $a$  = panjang retak (mm)  
 $F$  = Faktor akibat adanya perbedaan dimensi bahan  
 $S$  = tegangan yang bekerja pada bahan (MPa)

Dalam pengaplikasian, retak mempunyai berbagai bentuk seperti lingkaran, setengah lingkaran dan seperempat lingkaran seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3 dibawah ini :



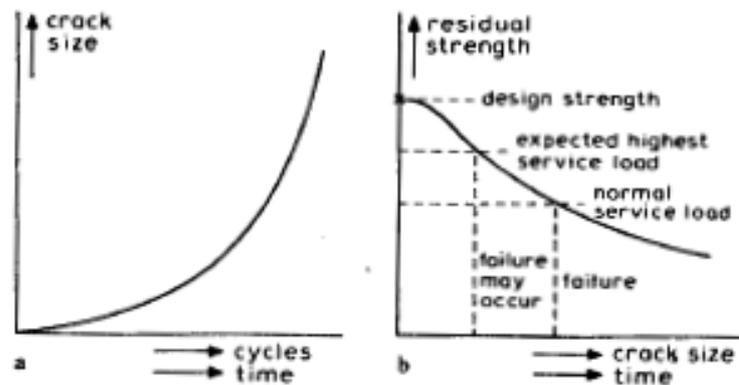
Gambar 2.3. Faktor intensitas tegangan untuk :

- (a) Retak berbentuk lingkaran akibat tegangan tarik normal
- (b) Retak berbentuk setengah lingkaran
- (c) Retak berbentuk sepecepat lingkaran
- (d) Retak berbentuk setengah lingkaran pada permukaan poros

Sumber: Dowling, Norman E., 1998 : 308

## 2.3 Retakan Suatu Struktur Material

Untuk mempertimbangkan suatu struktur material perlu juga untuk mempertimbangkan perkembangan retak, karena pembebanan yang berulang-ulang atau karena kombinasi beban dan juga lingkungan menyebabkan perambatan retak yang semakin besar sejalan dengan waktu. Semakin panjang retakan semakin besar pula konsentrasi tegangan yang terjadi didalamnya. Hubungan dari perambatan retak dan waktu dapat dilihat pada kurva pada gambar 2.4 di bawah ini :



Gambar 2.4 Masalah pada mekanika

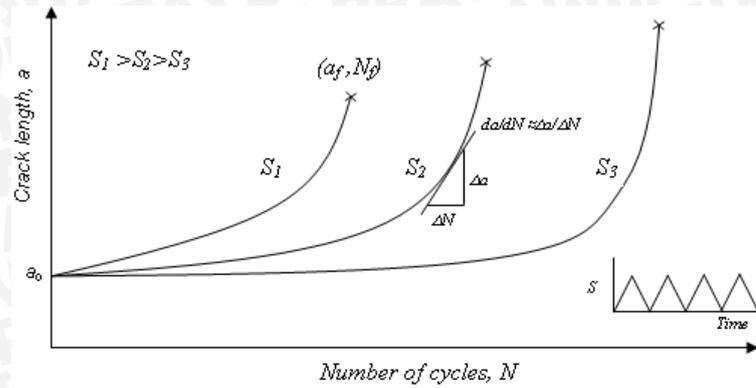
a. Kurva pertumbuhan retak                      b. Kurva kekuatan sisa

Sumber : Broek, D, 1978:6

### 2.3.1 Perilaku Rambat Retak

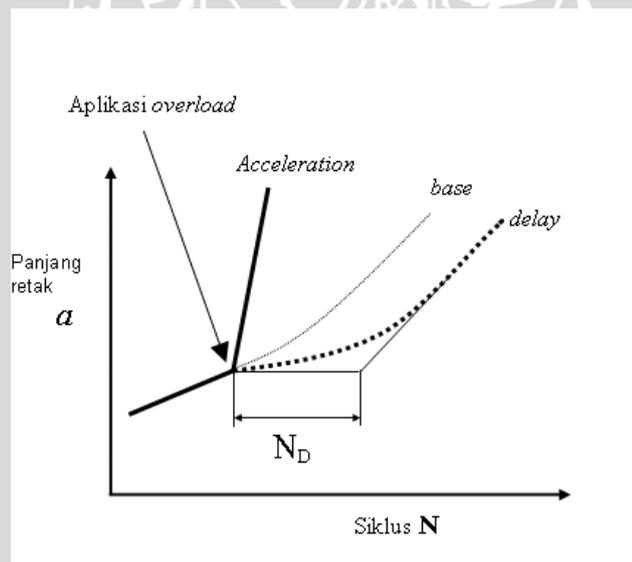
Umumnya retak yang terjadi adalah retak subkritis yang tumbuh dari suatu retak atau cacat sampai mencapai retak kritis. Sering ditemukan bahwa retak subkritis yang berkembang karena pembebanan *fatigue* terhadap retak awal atau cacat pada material (Stephens *et al.*, 2001).

Gambar 2.5 menunjukkan secara skematik hubungan panjang retak dan siklus pembebanan konstan dengan tingkat pembebanan yang berbeda, dengan  $S_1 > S_2 > S_3$  adalah tegangan siklus beban berulang maksimum dengan siklus beban minimumnya nol dan mempunyai panjang retak mula yang sama  $a_0$ . Bisa dilihat bahwa dengan siklus tegangan maksimum yang lebih besar, kecepatan rambat retak yang ditunjukkan dengan *slope* pada kurve lebih besar pada suatu panjang retak tertentu dan umur perambatan retak *fatigue*-nya lebih pendek ( $N_f$  menyatakan jumlah siklus total sampai patah). Di samping itu dengan siklus tegangan yang lebih tinggi, panjang retak pada saat patah  $a_f$  lebih pendek (Stephens *et al.*, 2001)



Gambar 2.5. Hubungan panjang retak dan siklus pembebanan konstan ( $S$ )  
 Sumber: Stephens *et al.*, 2001

Gambar 2.6 menunjukkan secara skematik perilaku rambat retak akibat beban lebih (*overload*), yang mana perambatan retak dapat mengalami penundaan atau *delay*.  $N_D$  menerangkan jumlah siklus beban berulang yang mengalami perlambatan atau tertahan, artinya umur retak akan semakin panjang, sehingga terjadinya patah menjadi tertunda (*delay*) (Makabe *et al.*, 2005). Di samping itu juga perambatan retak akan mengalami akselerasi sehingga umur retak akan semakin pendek dibanding dengan yang tanpa *overload*.



Gambar 2.6. Perilaku rambat retak setelah *overload*  
 Sumber: Makabe *et al.*, 2005

### 2.3.2 Laju Perambatan Retak

Prediksi perambatan retak dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan menganalisis pada setiap siklus beban dan pada setiap sejumlah siklus beban tertentu. Analisis perambatan retak pada tiap siklus beban mempunyai satu kelebihan dibanding

dengan yang lain, yaitu akan didapat hasil prediksi yang lebih teliti, karena setiap penambahan retak ( $\Delta a$ ) akan berpengaruh pada besarnya faktor intensitas tegangan ( $K$ ). Semakin besar panjang retak maka semakin besar nilai  $K$  sehingga mengakibatkan perambatan retak yang lebih cepat.

Perambatan retak merupakan fenomena lokal yang terjadi diujung retak yang dipengaruhi oleh distribusi tegangan pada daerah ujung retak tersebut, maka laju perambatan retak dapat dihubungkan sebagai fungsi dari faktor intensitas tegangan yaitu  $da/dN = f(\Delta K)$ . Paris menunjukkan hubungan tersebut dalam bentuk fungsi eksponen:

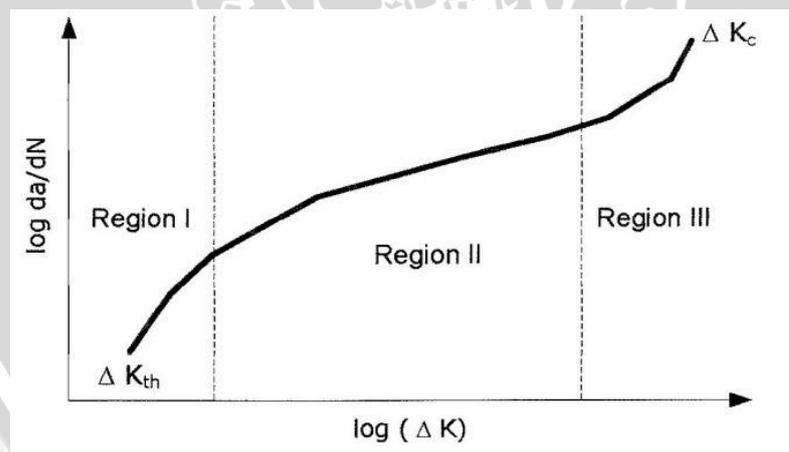
$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \quad [\text{mm/siklus}] \quad \text{Bannantine, J. A. : 103} \quad (2-9)$$

Keterangan :  $da/dN$  = Laju perambatan retak (mm/siklus)

$C$  dan  $m$  = Parameter material

$$\Delta K = K_{max} - K_{min} \quad (\text{MPa}\sqrt{\text{m}})$$

Secara umum, pertumbuhan retak pada rasio tegangan ( $R$ ) konstan dapat digambarkan secara skematik dalam grafik berikut.



Gambar 2.7 Kurva pertumbuhan retak  
Sumber: Bannantine, J. A. 1990 : 102

Berdasarkan gambar 2.7 di atas diketahui bahwa pertumbuhan retak terjadi dalam tiga tahap dengan perilaku pertumbuhan retak terjadi dalam tiga tahap dengan perilaku pertumbuhan yang berbeda satu dengan yang lain.

a. Perambatan retak pada daerah I

Pada daerah ini perkembangan retak dipengaruhi oleh nilai intensitas tegangan *threshold* ( $\Delta K_{th}$ ), disini pertumbuhan retak *fatigue* tidak terjadi atau terlalu kecil untuk dapat diukur. Nilai  $\Delta K_{th}$  biasanya berkisar antara 5-15 ksi-in<sup>1/2</sup> untuk baja dan antara 3-6 ksi-in<sup>1/2</sup> untuk paduan aluminium. Nilai  $\Delta K_{th}$  dipengaruhi oleh rasio tegangan, ( $R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$ ). peningkatan  $R$  menyebabkan menurunnya nilai  $\Delta K_{th}$  (Bannantine, 1990).

b. Perambatan retak pada daerah II

Sebagian besar aplikasi dari konsep LEFM adalah menggambarkan perilaku pertumbuhan retak pada daerah II. Pada daerah ini kemiringan kurva dari grafik hubungan antar  $\log \left( \frac{da}{dN} \right)$  dengan  $\log (\Delta K)$  diasumsikan linier dan berkisar antara 10<sup>-6</sup> sampai 10<sup>-3</sup> inch/siklus. Perambatan retak pada daerah ini dapat dijelaskan dengan persamaan Paris :

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \quad [\text{mm/siklus}]$$

Keterangan :  $\frac{da}{dN}$  = laju perambatan retak (mm/siklus)

$C, m$  = konstanta material

$\Delta K = K_{max} - K_{min}$  = faktor intensitas tegangan (MPa√m)

c. Perambatan retak pada daerah III

Daerah III adalah daerah dengan pertumbuhan retak yang cepat dan faktor intensitas tegangan yang tinggi menyebabkan perambatan retak tidak stabil. Perilaku retak pada titik transisi dari daerah II ke daerah III sangat dipengaruhi oleh kekuatan *yield*, faktor intensitas tegangan dan rasio tegangan. Persamaan Forman digunakan untuk menjelaskan perambatan retak pada daerah III :

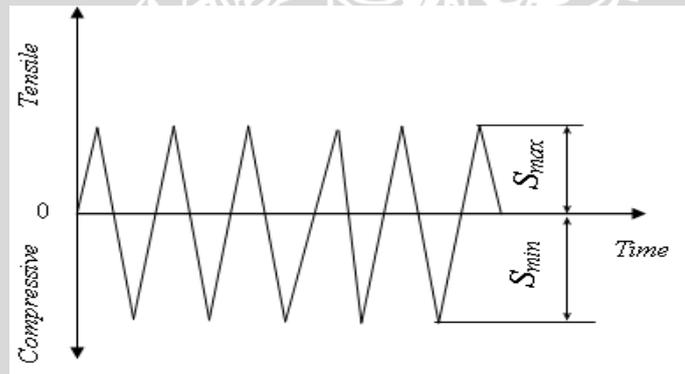
$$\frac{da}{dN} = \frac{C \Delta K^m}{(1-R)K_c - \Delta K} \quad [\text{mm/siklus}] \quad \text{Bannantine, J. A : 107} \quad (2-10)$$

Persamaan Forman memiliki hasil yang valid hanya jika besarnya rasio tegangan ( $R$ )  $> 0$ .

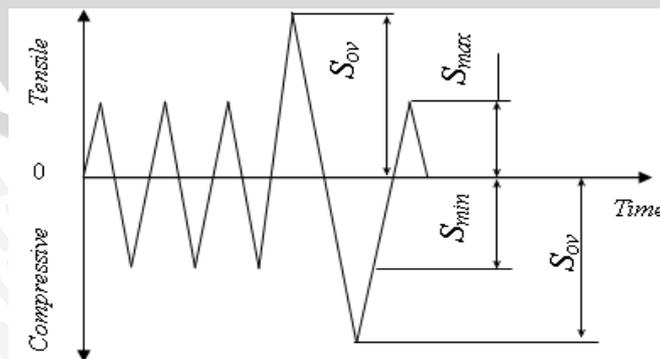
## 2.4 Proses Pembebanan Siklus Saat Rambat Retak

### 2.4.1 Pembebanan Siklus Bervariasi

Komponen dari bagian struktur seringkali mengalami beban dinamis yang bervariasi. Beban dinamis yang paling sederhana adalah berupa siklus beban berulang dengan fluktuasi konstan seperti ditunjukkan pada gambar 2.8. Akan tetapi, kebanyakan dalam aplikasi siklus beban yang dialami oleh suatu komponen adalah siklus dengan fluktuasi acak (*random*), seperti ditunjukkan pada gambar 2.9. Siklus beban dengan fluktuasi yang lebih tinggi dari fluktuasi rata-rata sering terjadi pada siklus beban dengan fluktuasi acak, dan siklus yang lebih tinggi ini sering disebut sebagai siklus *overload* (*overload cyclic*). Dimana  $S_{max}$ ,  $S_{min}$  dan  $S_{ov}$ , masing-masing adalah tegangan siklus maksimum, minimum dan *overload* (Purnowidodo, 2008)



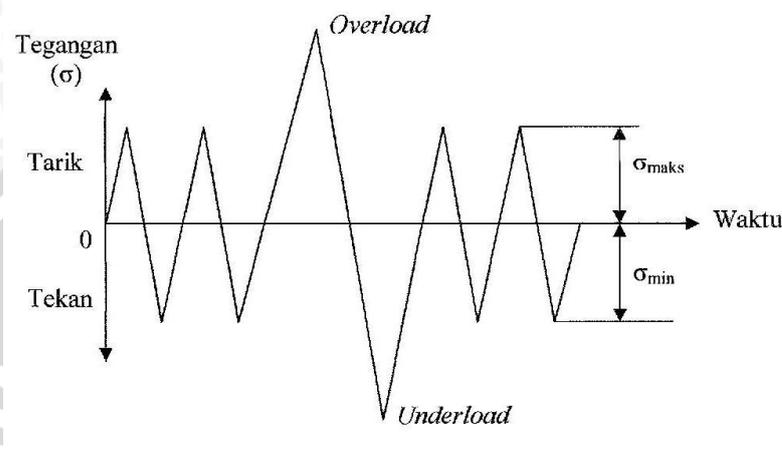
Gambar 2.8. Siklus beban berulang konstan  
Sumber: Makabe *et al*, 2004



Gambar 2.9. Siklus beban berulang acak  
Sumber: Makabe *et al*, 2004

### 2.4.2 Pengaruh *Overload*

Pemberian satu *overload* atau *underload* pada siklus pembebanan dengan amplitudo konstan dapat mengakibatkan percepatan atau perlambatan pertumbuhan retak. *Overload* dan *underload* menyebabkan konsentrasi tegangan yang tinggi di ujung retak sehingga dapat menghasilkan tegangan sisa tarik maupun tekan yang dapat mempengaruhi laju pertumbuhan retak.



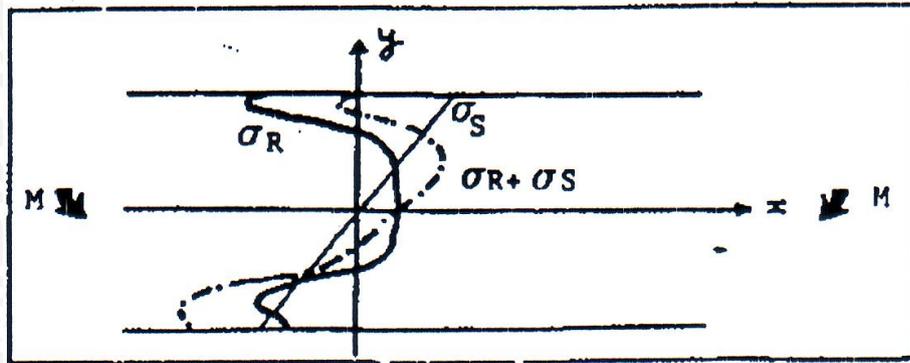
Gambar 2.10. Siklus pembebanan dengan *overload* dan *underload*  
Sumber: Bannantine, J. A. 1990

Penambahan satu *overload* pada pembebanan siklus dapat menyebabkan berkurangnya pertumbuhan retak atau *crack retardation*, sedangkan satu *underload* dapat menyebabkan percepatan pertumbuhan retak. Pada penambahan siklus *overload* (*overload* dilanjutkan *underload*) menyebabkan *crack retardation* berkurang (Bannantine, J. A. 1990).

### 2.4.3 Pengaruh *Residual Stress*

Tegangan sisa (*residual stress*) didefinisikan sebagai tegangan dalam atau tegangan yang terkunci di dalam suatu elemen walaupun tidak terkena gaya dari luar. Tegangan sisa secara makroskopis dihasilkan dari berbagai proses yang menyebabkan deformasi, kontraksi termal maupun perubahan fase akibat proses permesinan (Himami, 2008).

Ketika sebuah material terpengaruh oleh tegangan sisa ( $\sigma_R$ ) pada saat beban tegangan bekerja pada material tersebut ( $\sigma_S$ ) maka tegangan sebenarnya yang bekerja pada material adalah penjumlahan dari kedua tegangan tersebut, yaitu  $\sigma_R + \sigma_S$ . jika tegangan sisa ditambahkan ke tegangan yang bekerja maka material mengalami *local overload* akibat tegangan sisa.

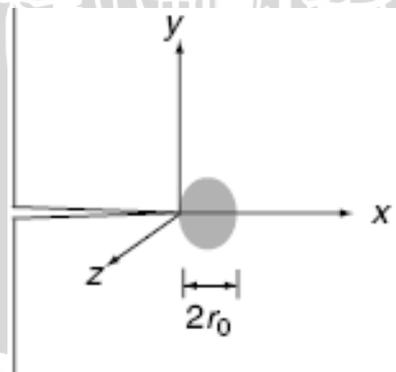


Gambar 2.11. Sifat material akibat pengaruh tegangan sisa  
Sumber: Physique and Industry-Research under contract, 2004

Pada umumnya, tegangan sisa tekan mempunyai pengaruh yang baik terhadap *fatigue life* dan *stress corrosion crack* karena dapat menunda pembentukan dan perkembangan retak. Sedangkan tegangan sisa tarik (*tensile*) mengurangi tegangan yang bekerja pada permukaan material yang bernilai tinggi sehingga meningkatkan *fatigue limit* material. Pada kasus beban siklus, retak dapat tumbuh dan berkembang pada tegangan yang jauh lebih rendah dibandingkan tegangan *yield*, hal ini menyebabkan terjadi redistribusi tegangan sisa. Terdapatnya tegangan sisa dapat membantu proses penutupan retak sehingga menunda perkembangan retak (Himami, 2008).

#### 2.4.4 Pengaruh *Plastic Zone*

*Plastic zone* merupakan suatu zona atau daerah di ujung retak yang mempunyai sifat plastis. Gambar 2.12 dibawah ini menunjukkan bentuk *plastic zone* di ujung retak.



Gambar 2.12 *Plastic zone* di ujung retak  
Sumber : Lee, Yung li, 2005 : 265

Besar plastic zone dihitung dengan menggunakan rumus :

$$r_0 = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{K}{\sigma_y} \right)^2$$

Lee, Yung-li. : 260 (2-11)

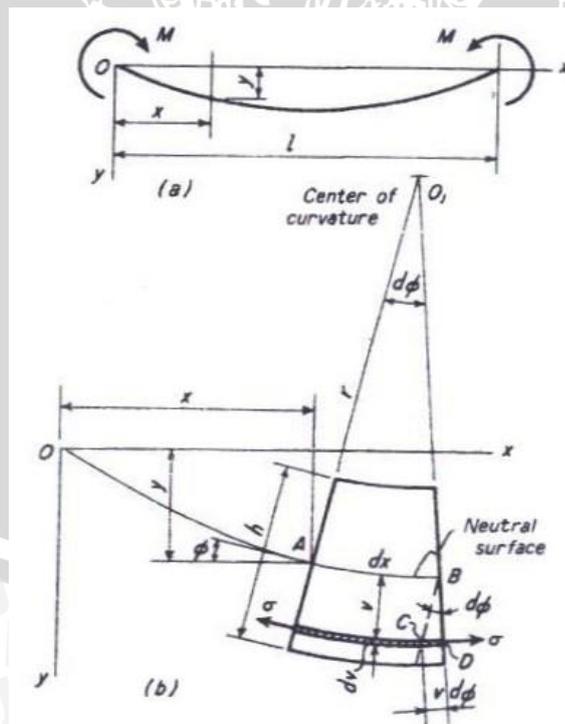
Keterangan :  $r_0 = \text{Plastic zone (mm)}$   
 $K = \text{Faktor intensitas tegangan (MPa}\sqrt{\text{m})}$   
 $\sigma_y = \text{Tegangan yield (Mpa)}$

## 2.5 Tegangan Bending pada Beam

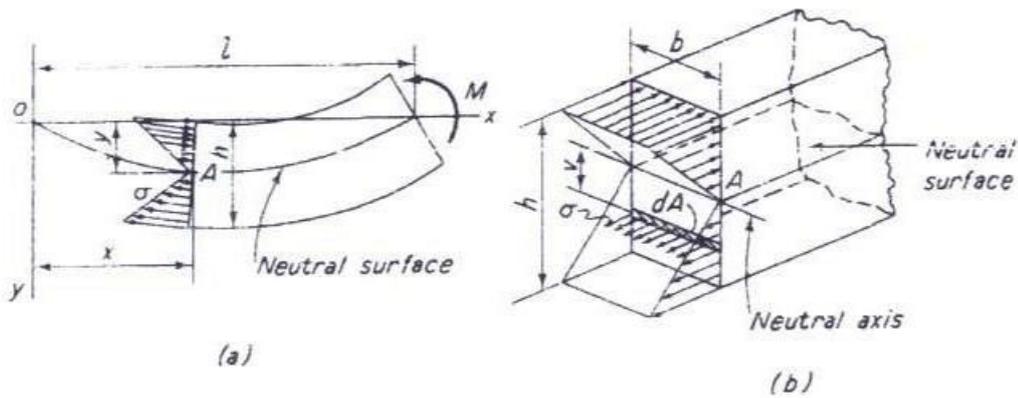
*Bending* atau sering disebut lendutan merupakan suatu karakteristik dari suatu material yang dikarenakan oleh gaya luar yang tegak lurus dengan benda. Terdapat tiga gaya internal yang diakibatkan oleh beban lateral yaitu *shear* (sejajar dengan pembebanan lateral), tekan (sepanjang bagian atas *beam*) dan tarik (sepanjang bagian bawah *beam*). Gaya tekan dan gaya tarik tersebut membentuk momen yang nilainya sama tapi berbeda arah seperti yang diperlihatkan dalam gambar 2.13. Jika gaya tersebut terjadi pada suatu penampang beam maka timbul tegangan dengan rumus:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2-12)$$

Keterangan :  $\sigma = \text{Tegangan (N/mm}^2 = \text{MPa)}$   
 $F = \text{Gaya yang dibebankan (N)}$   
 $A_0 = \text{Luas penampang beam sebelum dibebankan (mm}^2)$



Gambar 2.13. Tegangan *bending* pada *beam*  
 Sumber: Spotts, M. F., 1991 : 15



Gambar 2.14. Tegangan *bending* pada *beam*

Sumber: Spotts, M. F., 1991 : 16

Berdasarkan gambar diatas maka tegangan *bending* yang terjadi dirumuskan dengan:

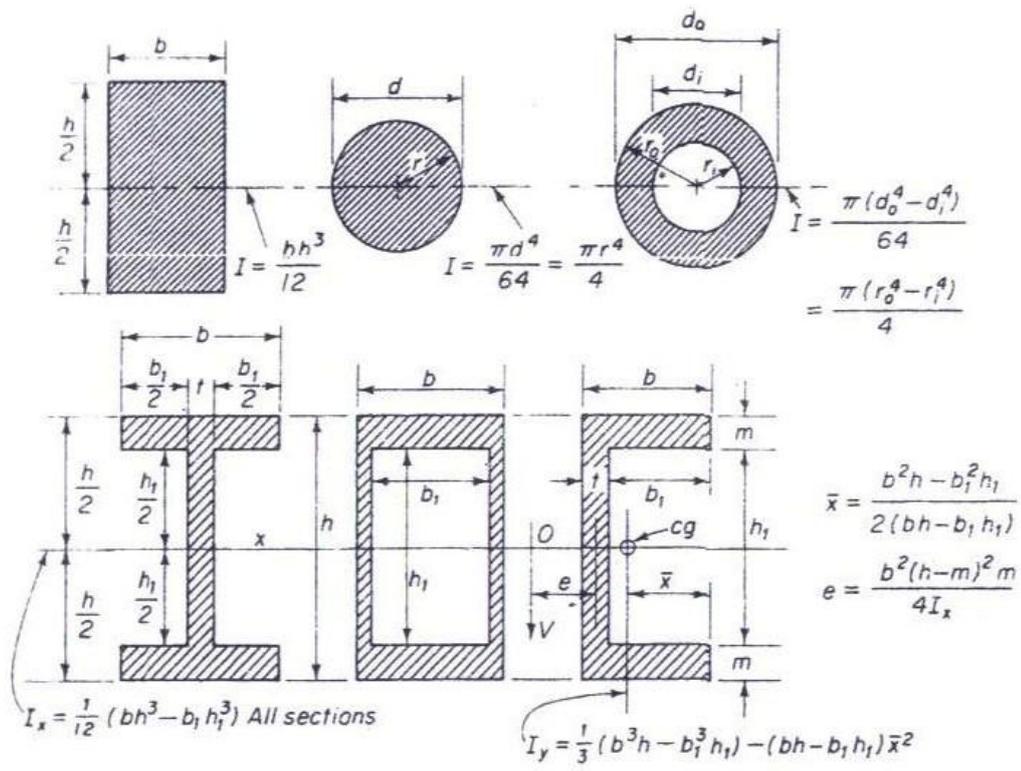
$$\sigma = \frac{M_{\max} \cdot y}{I} \quad \text{Spotts, M. F., 1991 : 17} \quad (2-13)$$

- Keterangan :
- $\sigma$  = Tegangan *bending* ( $N/mm^2$  atau  $MPa$ )
  - $M_{\max}$  = *Internal bending moment* (N.mm)
  - $y$  = Panjang pembebanan dari posisi beban sampai sumbu (mm)
  - $I$  = Momen inersia ( $mm^4$ )

Momen inersia yang digunakan untuk penampang berbentuk lingkaran adalah

$$I = \frac{\pi}{64} D^4 \quad \text{Spotts, M. F., 1991 : 18} \quad (2-14)$$

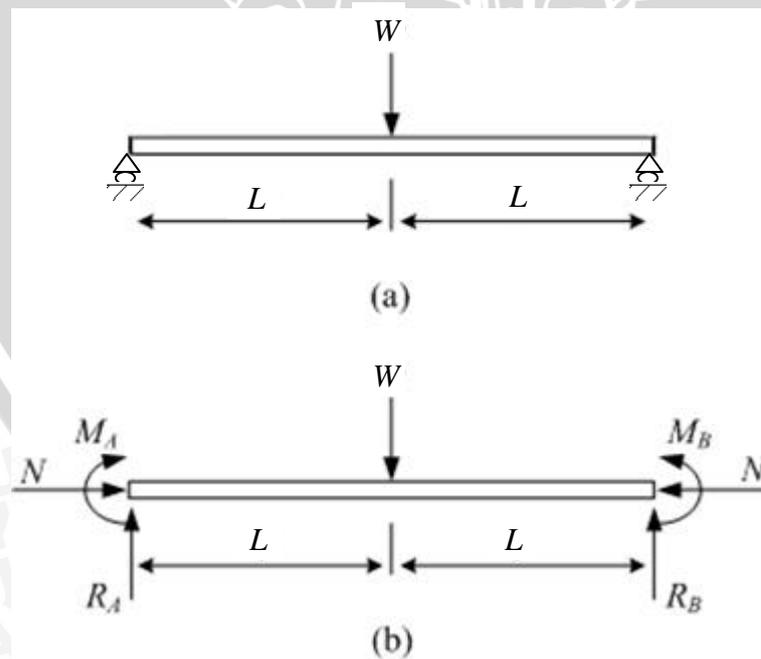
Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.15 dibawah ini :



Gambar 2.15. Momen inersia dari beberapa bentuk

Sumber: Spotts, M. F., 1991 : 18

Sehingga tegangan bending yang digunakan untuk material berbentuk silinder pejal seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.16 adalah



Gambar 2.16 Free body diagram untuk spesimen

(a) Beban bending pada struktur batang statis tak tentu

(b) Detil free body diagram

$$\sigma_B = \frac{W/2 \cdot L \cdot D/2}{\pi \cdot D^4 / 64} = \frac{W \cdot L \cdot 16}{\pi \cdot D^3} \quad (2-15)$$

Keterangan :  $\sigma_B$  = Tegangan bending ( $MPa = N/mm^2$ )

W = Gaya bending (N)

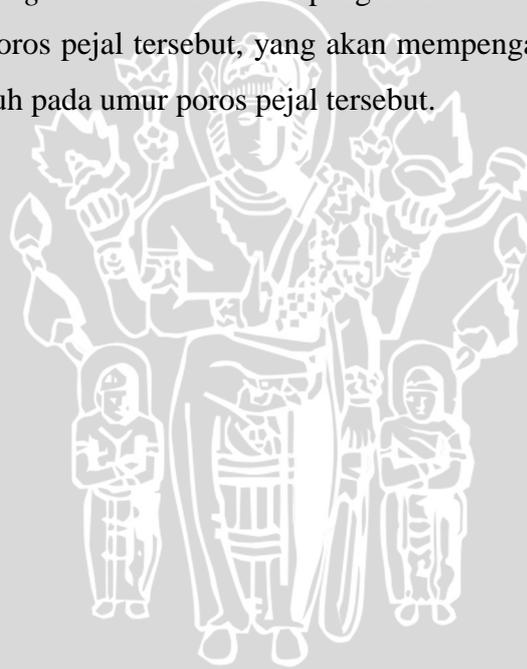
L = Panjang spesimen setengah bagian (mm)

D = Diameter spesimen (mm)

Karena ada kondisi simetris pada geometri dan pembebanan, maka pengamatan dapat dilakukan dengan setengah bagian. Gaya bending yang terhitung merupakan beban siklus yang dimasukkan, baik untuk tegangan konstan maupun *overload*.

## 2.6 Hipotesis

Penambahan *bending overload* akan mempengaruhi daerah plastis (*plastic zone*) dan tegangan sisa pada poros pejal tersebut, yang akan mempengaruhi laju perambatan retak sehingga berpengaruh pada umur poros pejal tersebut.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Metode Penelitian

1. Penelitian yang dilakukan adalah penelitian yang sebenarnya (*true experimental*), yaitu melakukan pengamatan terhadap panjang retak suatu material akibat pembebanan secara dinamis dengan variasi *bending overload* dan panjang retak saat *overload*.
2. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian *fatigue* pada baja karbon *ST 70*, yaitu melakukan pengujian terhadap baja karbon *ST 70* dengan menggunakan beban dinamis berupa beban *bending*.

Untuk mendukung penelitian ini maka dilakukan studi literatur untuk mendapatkan sumber-sumber pustaka yang berkaitan dengan penelitian ini yang berasal dari jurnal, buku, dan penelitian-penelitian sebelumnya.

### 3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan juni 2009 – selesai dan tempat yang digunakan dalam penelitian:

1. Untuk proses pembuatan spesimen uji *fatigue* dilakukan di Laboratorium Proses Produksi I, Jurusan Mesin FT. Universitas Brawijaya.
2. Untuk pengujian *fatigue* dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Jurusan Mesin FT. Universitas Brawijaya.
3. Untuk mengukur panjang retak dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik, Jurusan Mesin FT. Universitas Brawijaya.

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel bebas :

Variabel bebas adalah variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lain, besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya diubah-ubah untuk mendapatkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dari obyek penelitian. Dalam hal ini variabel bebasnya adalah tanpa *bending overload*, *bending overload* sebesar 70 dan 105 N.

2. Variabel terikat :

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah :

- a. Panjang retak.
- b.  $da/dN$ .

3. Variabel tetap :

Variabel tetap adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama penelitian, variabel yang dikonstantakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Jumlah siklus yang diberikan saat pembebanan normal tiap 50.000 siklus dan saat *overload* sebanyak 15.000 siklus
- b. Panjang retak saat *overload* adalah 1,15 dan 1,65 mm

### 3.4. Peralatan dan Bahan yang digunakan

#### 3.4.1. Peralatan yang digunakan

1. *Rotary Bending Machine*



Gambar 3.1. *Rotary Bending Machine*

Digunakan untuk melakukan uji *fatigue*. Dalam alat uji *fatigue* ini ada beberapa komponen yang digunakan untuk membantu dalam menjalankan mesin, yaitu:

a. *Converter*

Digunakan untuk mengatur kecepatan motor, dengan spesifikasi :

- Tipe = *Telemecanique Altivar 31H075M2A*
- Daya (P) = 0,75 kW = 1HP
- Tegangan (V) = 200 – 400 Volt
- $I_{max}$  = 8,9 A
- $F_{max}$  = 60 Hz



Gambar 3.2. Converter

b. *Smart relay*

Digunakan untuk mengontrol jumlah siklus yang terjadi pada mesin, dengan spesifikasi :

- Tipe = *Telemecanique SR2B201BD*
- Tegangan (V) = 24 Volt



Gambar 3.3. Smart Relay

c. Unit Komputer

Digunakan untuk menentukan jumlah siklus yang akan diberikan agar tetap konstan. Dari unit komputer ini akan dibaca oleh *smart relay*.

2. Penjepit, *Acetone* dan *Replication foil*

Digunakan dalam proses pembuatan replika retak yang terjadi pada poros.

3. Mikroskop dengan perbesaran 10x

Digunakan untuk melihat retak yang terjadi.

4. Dial indicator

Digunakan untuk mengukur panjang retak yang terjadi.

5. Kertas gosok dan *Autosol*

Digunakan untuk membersihkan spesimen.

6. Kunci Chuck

Digunakan untuk memegang spesimen saat dilakukan pengujian.

7. Pemompa *Grass*

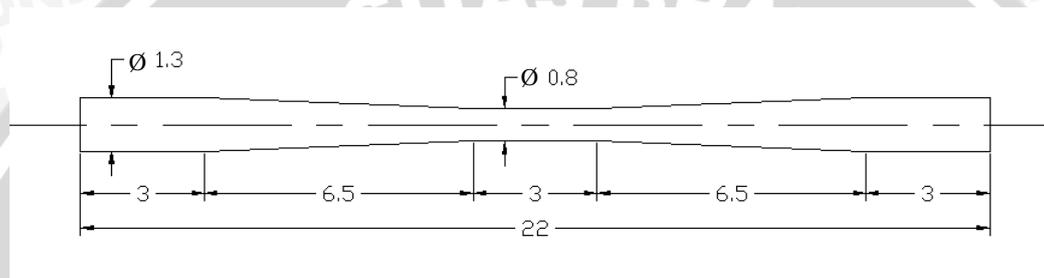
8. Beban

9. Bor Tangan ( $\varnothing$  mata bor = 0,5 mm)  
Digunakan untuk membuat *initial crack*.

### 3.4.2. Bahan yang digunakan

Bahan benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon ST 70, sifat dengan tegangan luluh 360 Mpa dan tegangan maksimum 687 MPa. Benda kerja ini berbentuk silinder pejal sesuai dengan standard pengujian *fatigue* dengan diameter yang dicekam 13 mm dan panjang 30 mm, sedangkan diameter yang diamati 8 mm dan panjang 30 mm. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.4. dibawah ini :

satuan cm

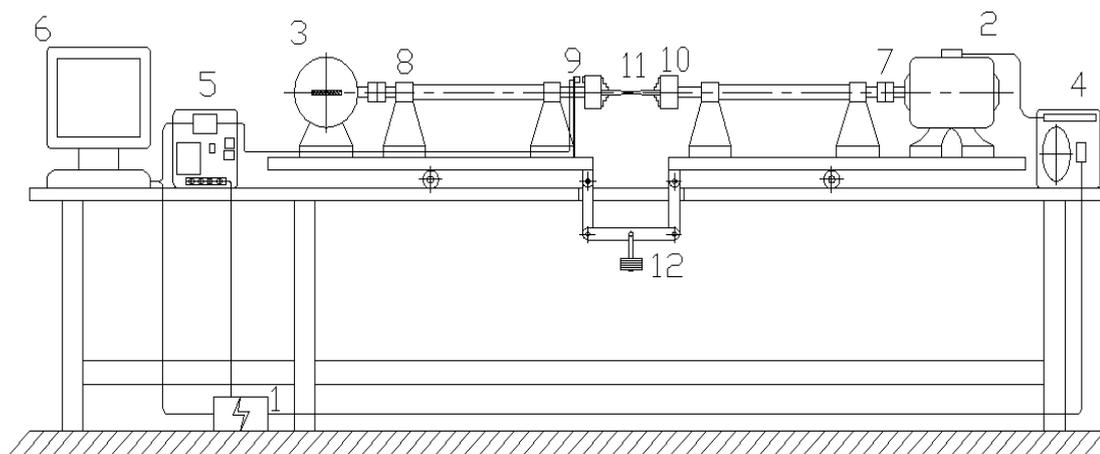


Gambar 3.4. Benda Kerja

## 3.5 Pelaksanaan Penelitian

### 3.5.1 Penyusunan Alat Penelitian

Sebelum penelitian dilaksanakan, dilakukan persiapan penyusunan alat-alat penelitian. Mempersiapkan instalasi utama (gambar 3.5) yang dirangkai menjadi satu kesatuan. Kemudian dilakukan persiapan peralatan serta penyetingan mesin dalam kondisi baik.



Gambar 3.5. Skema instalasi alat pengujian

Keterangan :

1. Sumber listrik
2. Motor listrik
3. Rotor
4. *Converter*
5. *Smart Rellay*
6. Unit Komputer
7. Kopling
8. *Bearing*
9. Sensor
10. *Chuck*
11. Spesimen
12. Beban

### 3.5.2 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian.
2. Membersihkan spesimen dengan menggunakan *autosol* agar spesimen lebih bening seperti kaca terutama di daerah *initial crack*.
3. Menyiapkan instalasi alat pengujian *fatigue*.
4. Memasang benda kerja pada *chuck* (pastikan dalam kondisi *center*)
5. Melakukan proses pengujian *fatigue* selama 50.000 siklus.
6. Mengamati pertumbuhan retak dan mengukur panjang retak yang terjadi pada spesimen.
7. Mengulangi langkah 5 dan 6 sampai panjang retak memenuhi untuk dilakukan *overload*.
8. Melakukan proses pengujian *fatigue* dengan menggunakan *overload* selama 15.000 siklus.
9. Mengamati pertumbuhan retak dan mengukur panjang retak yang terjadi pada spesimen.
10. Melakukan proses pengujian *fatigue* dengan pembebanan normal dan jumlah siklus 1000, 3000, 5000, 10000, 20000, 30000, 40000 dan 50000 setelah *overload*.

11. Mengamati pertumbuhan retak dan mengukur panjang retak yang terjadi pada spesimen pada siklus yang diberikan pada langkah 10.
12. Mengulangi langkah 5 dan 6 sampai spesimen patah.
13. Pengambilan foto hasil patahan yang terjadi pada spesimen.
14. Pengolahan data.
15. Melakukan analisa dan pembahasan.
16. Menarik kesimpulan.

### 3.5.3 Pengamatan dan Pengukuran Pertumbuhan Retak

Pertumbuhan retak yang terjadi dalam benda kerja terjadi akibat dari beban *bending* dan beban puntir yang diterima selama pengujian dilakukan. Perambatan retak mulai diamati ketika specimen sudah terinisiasi sepanjang *short crack* yaitu 0,75 mm. Ketika terjadi retakan pada specimen, diambil *replica* dari specimen tersebut dengan menggunakan cairan *acetone*.

Pengamatan dan pengukuran pertumbuhan retak yang mengalami beban *bending* dan beban puntir dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Pastikan alat uji dalam keadaan mati dan tanpa beban.
- b. Mengambil *replica* dari specimen dengan menggunakan cairan *acetone*.
- c. Retak dilihat menggunakan mikroskop dengan perbesaran 10x.
- d. Mengukur panjang retak dengan menggunakan *dial indikator*.

### 3.6. Rancangan Penelitian

Penelitian ini akan mengambil data variable bebas yaitu pemberian *overload*. Bentuk tabel dapat dilihat di bawah ini :

Tabel 3.1. Contoh tabel pengambilan data panjang retak pada poros pejal.

Spesimen = Tanpa *overload* (beban normal 35 N)

Diameter = 8 mm

Frekuensi = 10 Hz

Jumlah siklus	$a$ (mm)	$K_{\max}(Mpa\sqrt{m})$	$da/dN(\text{mm/siklus})$
50000			
100000			
150000			
200000			
250000			

Spesimen = *Overload* 70 N, panjang retak saat *overload* = 1,15 mm

Diameter = 8 mm

Frekuensi = 10 Hz

Jumlah siklus	$a$ (mm)	$K_{\max}(Mpa\sqrt{m})$	$da/dN(\text{mm/siklus})$
50000			
100000			
150000	1,15		
165000			
215000			

Spesimen = *Overload* 70 N, panjang retak saat *overload* = 1,65 mm

Diameter = 8 mm

Frekuensi = 10 Hz

Jumlah siklus	$a$ (mm)	$K_{\max}(Mpa\sqrt{m})$	$da/dN(\text{mm/siklus})$
50000			
100000			
150000	1,65		
165000			
215000			

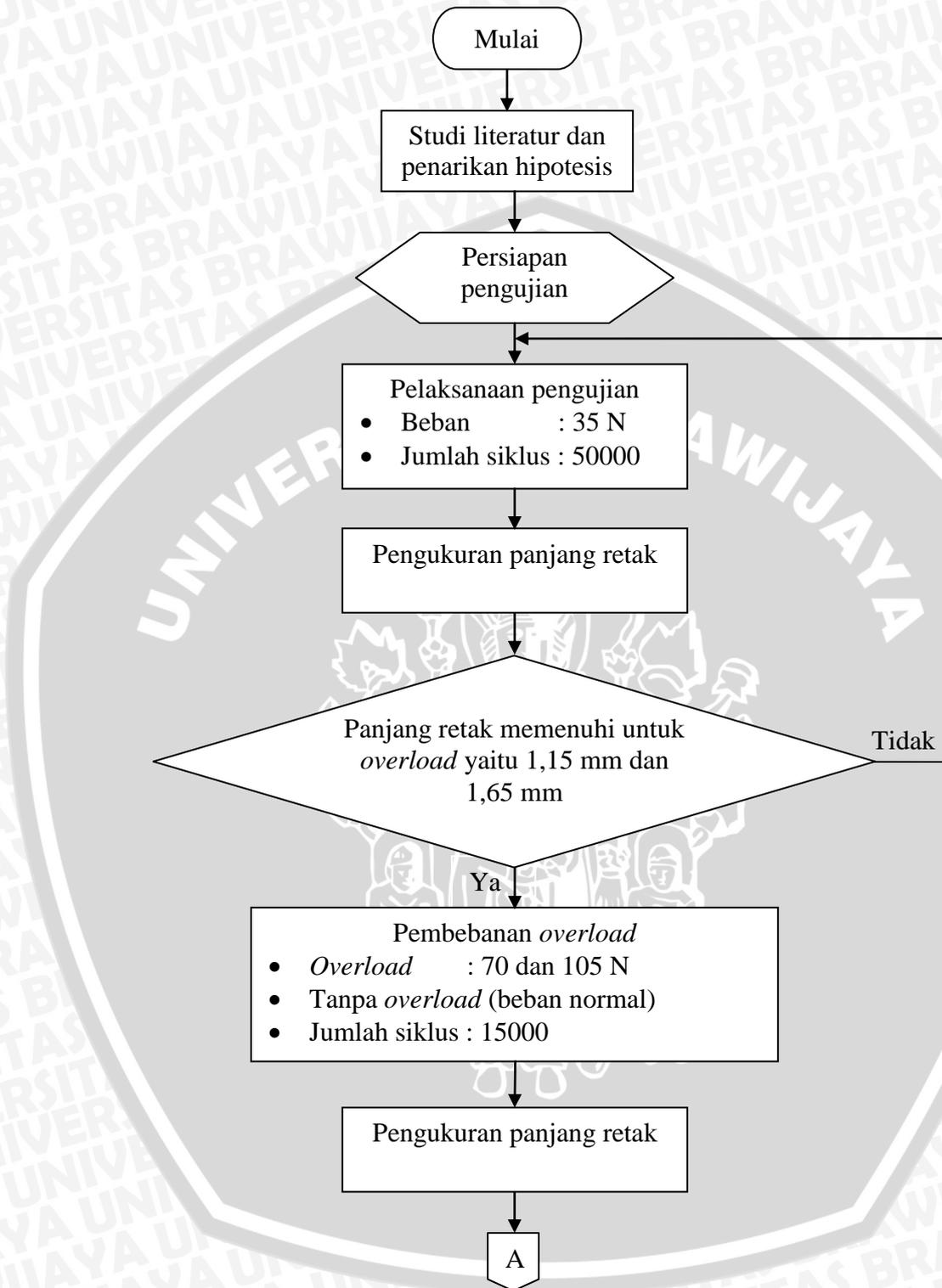
Spesimen = *Overload* 105 N, panjang retak saat *overload* = 1,15 mm

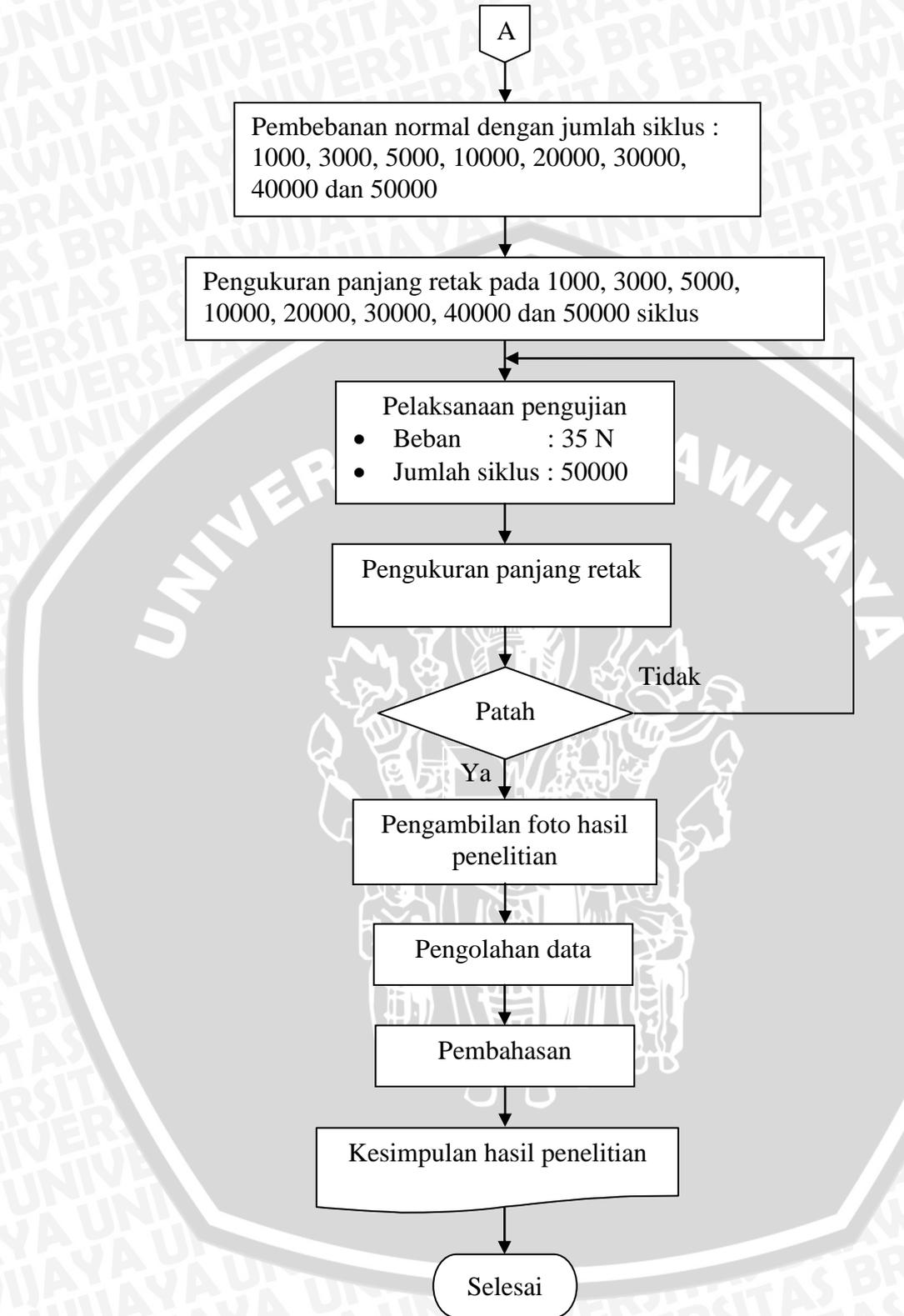
Diameter = 8 mm

Frekuensi = 10 Hz

Jumlah siklus	$a$ (mm)	$K_{\max}(Mpa\sqrt{m})$	$da/dN(\text{mm/siklus})$
50000			
100000			
150000	1,15		
165000			
215000			

3.7 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.6. Diagram alir penelitian

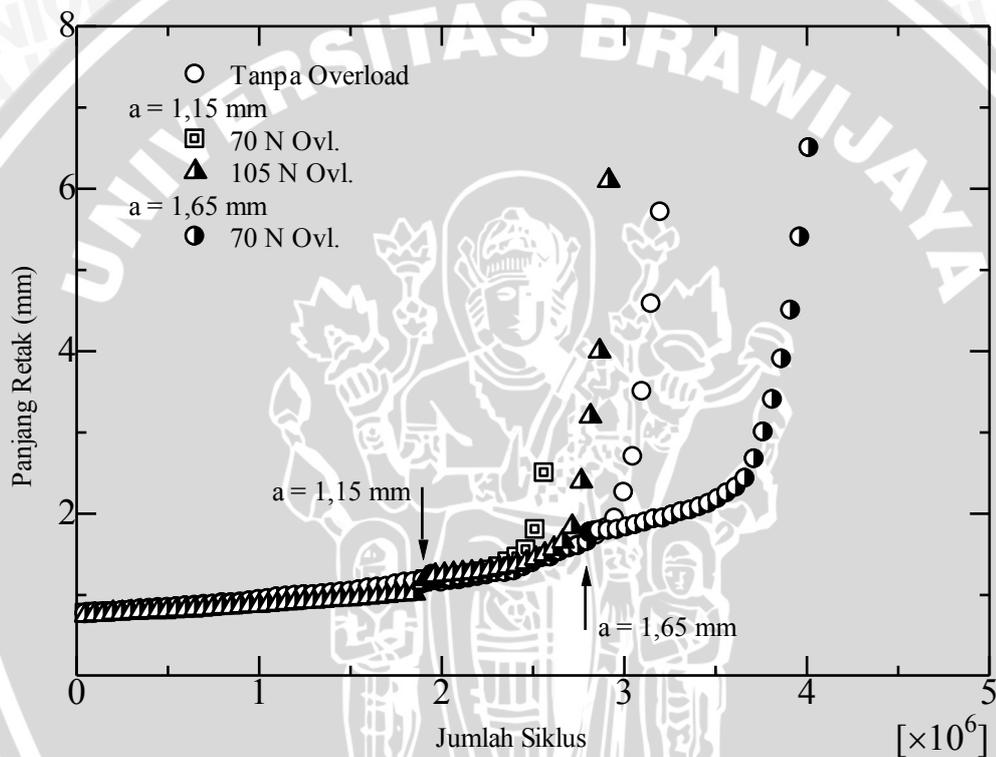


## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

#### 4.1.1. Hubungan antara jumlah siklus dengan panjang retak

Dengan adanya penambahan jumlah siklus maka retak yang terjadi pada poros pejal juga akan bertambah sampai poros mengalami patah. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.1 dibawah ini :



Gambar 4.1. Grafik hubungan antara jumlah siklus dengan panjang retak.

Gambar 4.1 diatas menunjukkan hubungan antara panjang retak dan jumlah siklus pada spesimen dengan diameter = 8 mm dengan berbagai tingkatan *overload* dan panjang retak saat *overload*.

Dari gambar ini dapat diketahui bahwa pada spesimen tanpa perlakuan tidak mengalami *delay*. Poros pejal mengalami patah setelah panjang retak yang terjadi sebesar 5,71 mm pada 3200000 siklus. Pada bending *overload* sebesar 70 N dan panjang retak saat *overload* 1,15 mm, memiliki umur yang lebih pendek daripada tanpa

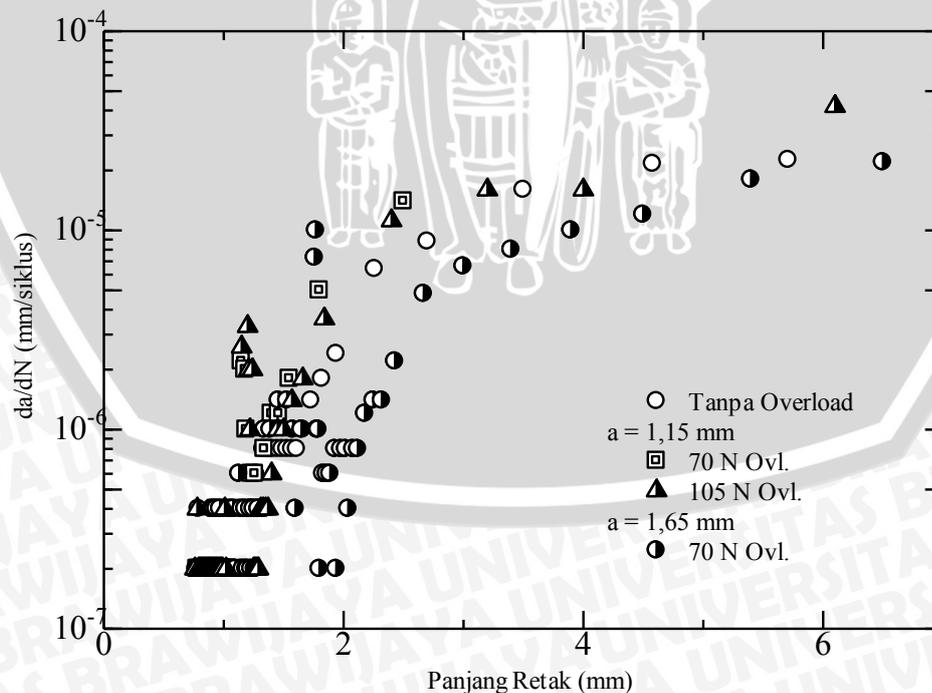
perlakuan. *Delay* yang terjadi sebesar 550000 siklus setelah itu pertumbuhan retak mengalami akselerasi atau percepatan hingga akhirnya poros patah setelah panjang retak yang terjadi sebesar 2,5 mm pada 2565000 siklus. Berbeda dengan bending *overload* sebesar 70 N dan panjang retak saat *overload* 1,65 mm. Umurnya lebih besar dari pada tanpa perlakuan dan pemberian *overload* sebesar 70 N dengan panjang retak 1,15 mm. *Delay* yang terjadi sebesar 900000 siklus setelah itu pertumbuhan retak mengalami akselerasi atau percepatan hingga akhirnya poros patah setelah panjang retak yang terjadi sebesar 6,5 mm pada 4015000 siklus.

Pada pemberian bending *overload* sebesar 105 N dan panjang retak saat *overload* 1,15 mm, juga memiliki umur yang lebih pendek daripada tanpa perlakuan. *Delay* yang terjadi sebesar 800000 siklus setelah itu pertumbuhan retak mengalami akselerasi atau percepatan hingga akhirnya poros patah setelah panjang retak yang terjadi sebesar 6,1 mm pada 2915000 siklus.

#### 4.1.2. Hubungan antara panjang retak dengan kecepatan retak ( $da/dN$ )

Kecepatan retak ( $da/dN$ ) dihitung dengan menggunakan rumus :

$$da/dN = \frac{a_{n+1} - a_n}{N_{n+1} - N_n}$$

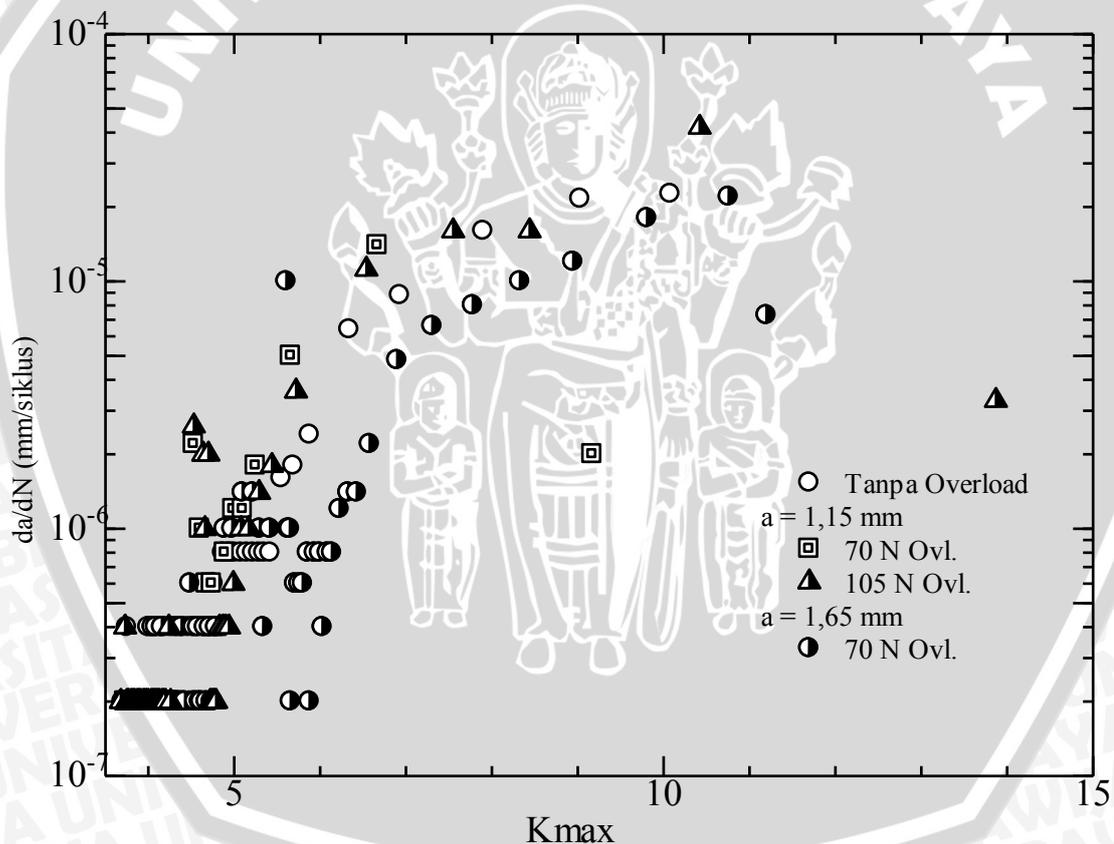


Gambar 4.2. Grafik hubungan antara panjang retak dengan kecepatan retak ( $da/dN$ ).

Pada gambar 4.2 diatas menunjukkan hubungan antara panjang retak dan jumlah siklus pada spesimen dengan diameter = 8 mm dengan berbagai tingkatan *overload* dan panjang retak saat *overload*.

Grafik ini dibuat untuk lebih mengetahui pengaruh *overload* terhadap kecepatan rambat retak. Dari sini dapat diketahui bahwa sesaat setelah *overload* kecepatan meningkat dengan cepat dan kemudian dengan cepat menurun sampai dibawah kecepatan tanpa perlakuan. Selanjutnya kecepatan retak akan meningkat kembali sampai pada akhirnya berhimpit dengan kecepatan retak pada kondisi tanpa perlakuan.

#### 4.1.3. Hubungan antara faktor intensitas tegangan maksimum ( $K_{max}$ ) dengan kecepatan retak ( $da/dN$ )



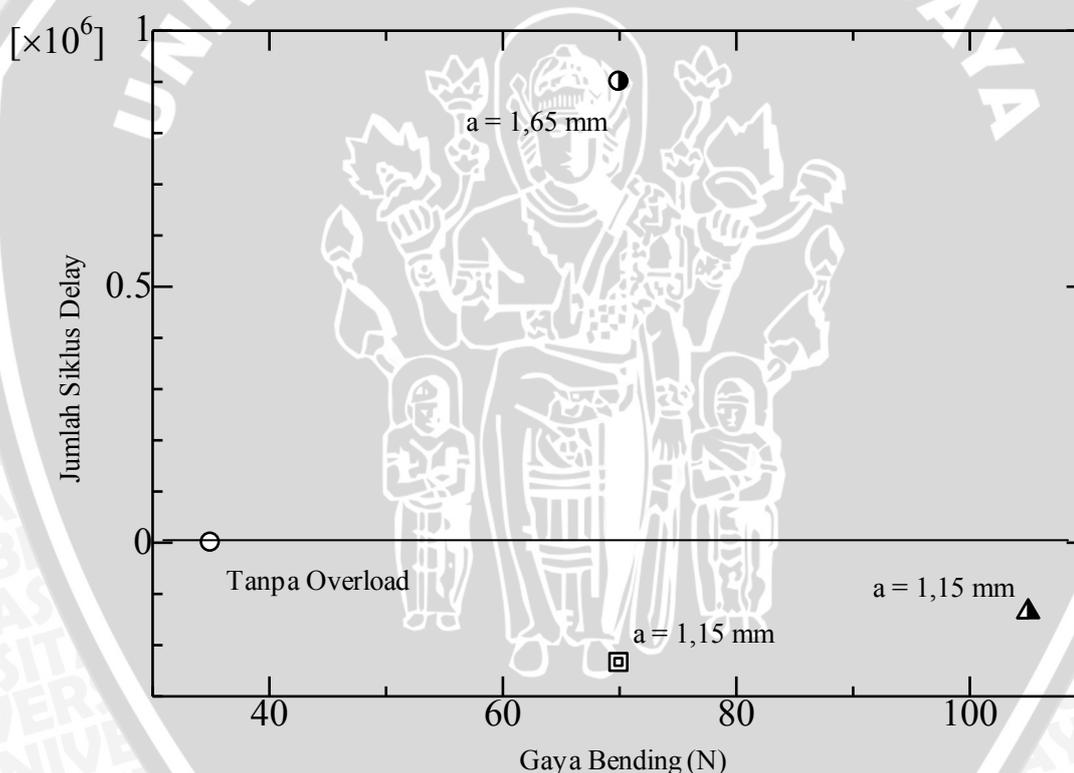
Gambar 4.3. Grafik Hubungan antara faktor intensitas tegangan ( $\Delta K$ ) dengan kecepatan retak ( $da/dN$ ).

Pada gambar 4.3 diatas di gambarkan perilaku pertumbuhan retak di daerah II. Pada daerah ini kemiringan kurva dari grafik hubungan antara  $\Delta K$  dan  $da/dN$  di

asumsikan linier dan berkisar antara  $10^{-6}$  sampai dengan  $10^{-3}$  mm/siklus. Sedangkan daerah dibawah  $10^{-6}$  mm/siklus, pertumbuhan retaknya terlalu kecil sehingga sulit untuk di ukur.

Selain itu, dari gambar diatas diketahui bahwa sesaat setelah overload kecepatan meningkat dengan cepat dan kemudian dengan cepat menurun sampai dibawah kecepatan tanpa perlakuan. Selanjutnya kecepatan retak akan meningkat kembali sampai pada akhirnya berhimpit dengan kecepatan retak pada kondisi tanpa perlakuan.

#### 4.1.4. Hubungan antara beban bending dengan jumlah siklus *delay* pada panjang retak saat *overload* 1,15 dan 1,65 mm.



Gambar 4.4. Grafik hubungan antara beban bending dengan jumlah siklus *delay* pada panjang retak saat *overload* 1,15 mm dan 1,65 mm.

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara beban bending dengan jumlah siklus *delay* pada panjang retak saat *overload* 1,15 mm dan 1,65 mm. Dari gambar diketahui bahwa dengan beban *overload* sebesar 70 N dan panjang retak 1,65 mm, dicapai jumlah siklus *delay* maksimum yaitu sebesar 900000 siklus.

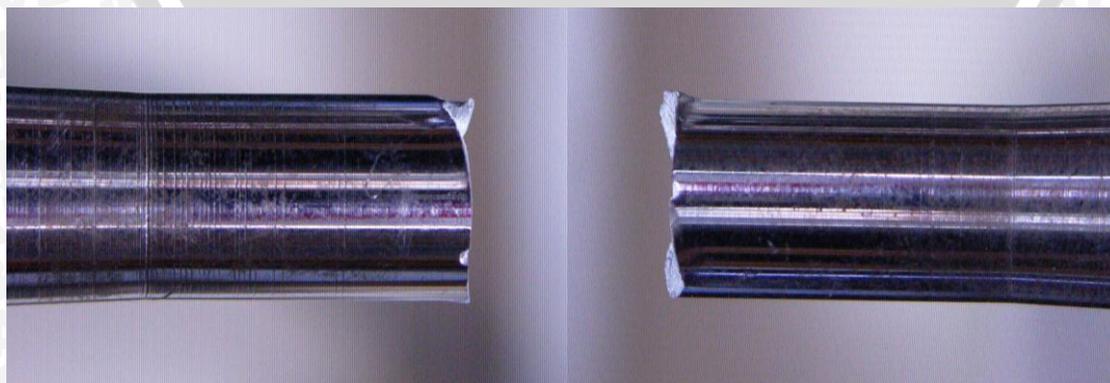
Sedangkan pada beban *overload* sebesar 70N dan panjang retak 1,15 mm, jumlah siklus *delay* yang dihasilkan adalah 550000 siklus. Penambahan beban *overload* yaitu 105N dan panjang retak 1,15 mm, jumlah siklus *delay* yang dihasilkan adalah 800000 siklus. Dari sini dapat diketahui bahwa semakin besar tingkatan *overload* akan meningkatkan jumlah siklus *delay*, tetapi setelah mencapai maksimum, peningkatan besar *overload* justru akan menurunkan jumlah siklus *delay*.

#### 4.1.5. Bentuk patahan pada poros pejal hasil pengujian.

Sangat penting untuk mengetahui penyebab perilaku rambat retak yang ditunjukkan pada gambar 4.1 sampai 4.4. Mc.Evily (2004) dan Makabe (2005), menerangkan bahwa perilaku rambat retak setelah *overload* tergantung dari kondisi tegangan sisa disekitar ujung retak. Jika yang terjadi adalah tegangan sisa tekan, maka *delay* akan terjadi dan umur poros akan lebih panjang, sebaliknya jika tegangan sisa tarik yang terjadi maka umur poros akan lebih pendek dan hal ini sangat berbahaya pada komponen. Pada gambar 4.5 menunjukkan permukaan patahan pada skala makro dapat diketahui pola dari perambatan retak, dan daerah retak pada saat *overload* dilakukan.



Gambar 4.5. Bentuk patahan hasil pengujian



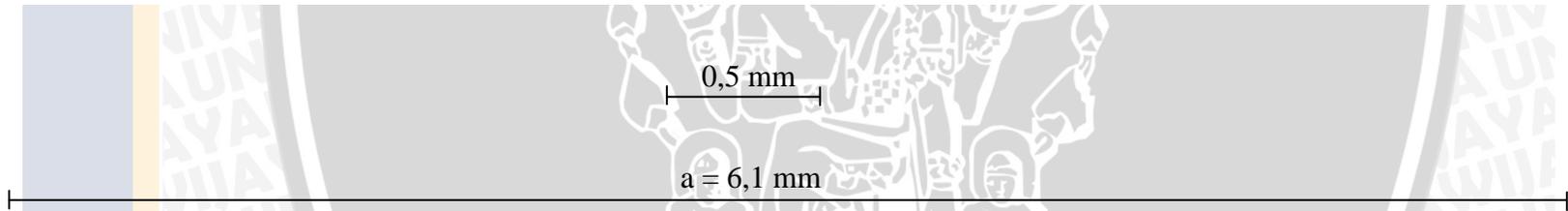
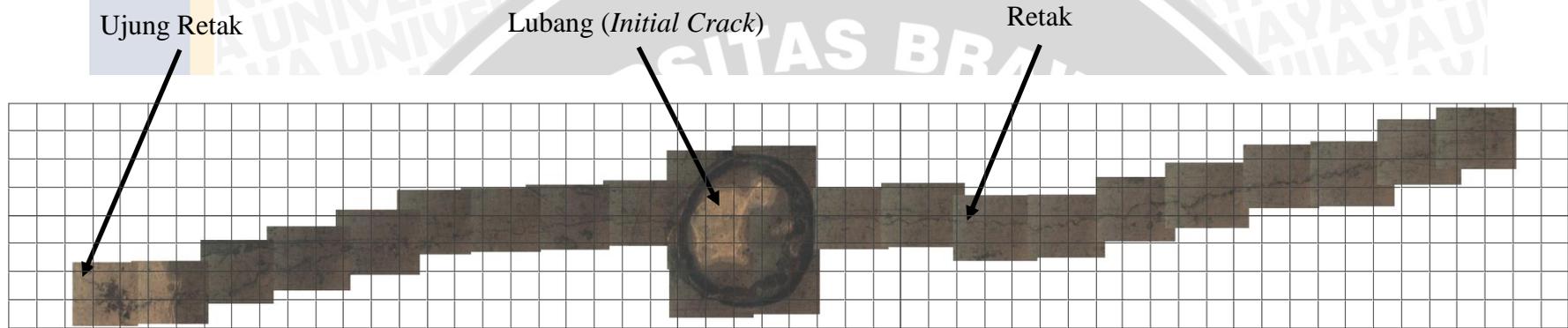
Gambar 4.6. Bentuk patahan hasil pengujian

Retak makro akan merambat sehingga penampang sisa menjadi semakin kecil pada luas penampang sisa kritis dimana kekuatan sisa tidak mampu lagi menahan beban, maka struktur tersebut akan patah. Seperti pada gambar 4.5 material yang mengalami perpatahan akibat kelelahan, pada penampang patahannya adanya ciri-ciri tertentu sesuai dengan mekanisme terjadinya perpatahan akibat kelelahan, yaitu:

- Daerah retak lelah, merupakan daerah yang cukup rata dimana terjadi perambatan retak lelah secara perlahan. Daerah ini biasanya memiliki lengkungan konsentris mengitari titik awal retak yang merupakan posisi dimana terjadi retak stasioner untuk periode retak tertentu.
- Daerah patah statis yang memiliki ciri-ciri seperti perpatahan pada uji impact dengan permukaan kasar. Bentuk permukaan perpatahan pada daerah ini menunjukkan bahwa kegagalan terjadi secara tiba-tiba.

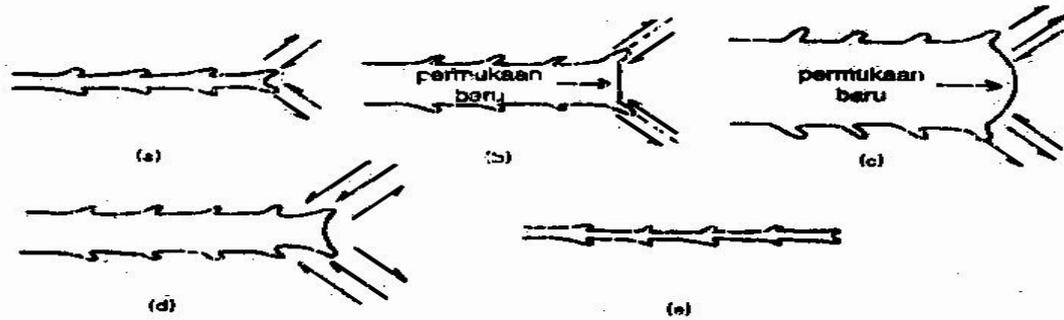


#### 4.1.6. Pola retakan pada poros pejal hasil pengujian.



Gambar 4.7. Pola retakan hasil pengujian.

Dari gambar 4.7 diatas dapat dilihat bahwa ada 3 tahap dalam perpatahan *fatigue* yaitu permulaan retak yang berupa lubang, perambatan retak dan patah. Ada beberapa tahapan perambatan retak seperti pada gambar 4.8 dibawah ini:



Gambar 4.8 Proses perambatan retak  
Sumber : Smallman.Metalurgi Fisik Modern, 1990 : 491

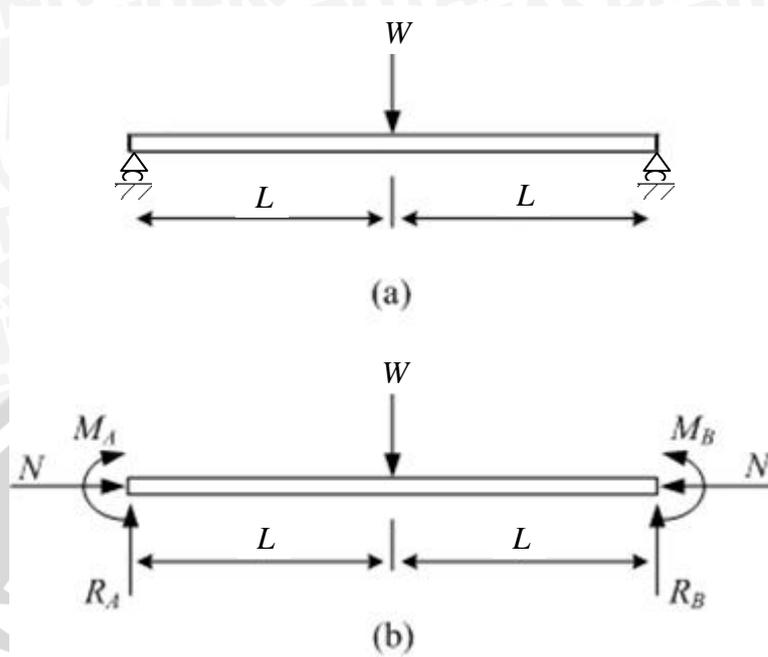
Keterangan :

- (a) Timbul tegangan geser pada ujungnya dan meningkatnya tegangan tarik, retak terbuka dan terbentuk permukaan baru .
- (b) Terjadi pemisahan pada pita slip dan terbentuk “telinga“ pada ujung retak. Retak memanjang dan menjadi tumpul akibat deformasi plastik.
- (c) Retak mulai menutup kembali pada bagian tekan dari suatu siklus.
- (d) Tegangan geser berbalik dan dengan meningkatnya beban tekan, maka retak hampir tertutup kembali.
- (e) Pada bagian siklus ini permukaan yang baru bertekuk dan telinga membentuk striasi baru pada permukaan perpatahan akhir.

Striasi adalah garis-garis halus yang menyatakan kedudukan berurut dari medan retak yang bergerak tegak lurus pada bidang tarik terbesar. Setiap striasi dihasilkan oleh satu siklus tegangan. Adanya striasi tersebut memberikan petunjuk pasti bahwa kegagalan yang terjadi akibat kelelahan disebabkan oleh beberapa hal antara lain: jarak yang sangat kecil sehingga tidak terlihat oleh metode pengamatan yang digunakan, kurangnya keuletan pada ujung retak untuk menghasilkan striasi melalui deformasi plastis yang cukup besar untuk diamati atau disebabkan oleh hilangnya striasi akibat kerusakan permukaan.

#### 4.1.7 Data hasil perhitungan

Diketahui :



Gambar 4.9 *Free body diagram* untuk spesimen  
 (a) Beban bending pada struktur batang statis tak tentu  
 (b) Detil *free body diagram*

$$W = 105 \text{ N}$$

$$L = 420 \text{ mm}$$

$$D = 8 \text{ mm}$$

$$a_{ov} = 1,15 \text{ mm}$$

$$f = 10 \text{ Hz}$$

$$F = 0,728$$

Tabel 4.1 Sampel data untuk perhitungan

Sebelum *Overload*

$N$ (siklus)	$a$ (mm)	$K_{\max}$ (Mpa $\sqrt{m}$ )	$da/dN$ (mm/siklus)
1700000	0,99	4,20	
1750000	1,01	4,24	0,0000004

## Saat Overload

$N$ (siklus)	$a$ (mm)	$K_{\max}$ (Mpa $\sqrt{m}$ )	$da/dN$ (mm/siklus)
1900000	1,15	4,53	
1915000	1,2	13,87	0,0000033

## Setelah Overload

$N$ (siklus)	$a$ (mm)	$K_{\max}$ (Mpa $\sqrt{m}$ )	$da/dN$ (mm/siklus)
2865000	4	8,44	
2915000	6,1	10,42	0,0000420

## 1. Sebelum Overload

- Tegangan bending

$$\begin{aligned}\sigma_B &= \frac{W.L.16}{\pi.D^3} \\ &= \frac{35.420.16}{3,14.8^3} \\ &= \frac{235200}{1607,68} \\ &= 146,298MPa\end{aligned}$$

- Faktor Intensitas Tegangan

$$\begin{aligned}K_{\max} &= F\sigma_b\sqrt{\pi.a/2} \\ &= 0,728.146,298\sqrt{3,14.0,505} \\ &= 4,24MPa\sqrt{m}\end{aligned}$$

- $da/dN$

$$\begin{aligned}da/dN &= \frac{a_{n+1} - a_n}{N_{n+1} - N_n} \\ &= \frac{1,01 - 0,99}{1750000 - 1700000} \\ &= 0,0000004mm/siklus\end{aligned}$$

## 2. Saat Overload

- Tegangan bending

$$\begin{aligned}\sigma_B &= \frac{W.L.16}{\pi.D^3} \\ &= \frac{105.420.16}{3,14.8^3}\end{aligned}$$

$$= \frac{705600}{1607,68}$$

$$= 438,893 \text{ MPa}$$

- Faktor Intensitas Tegangan

$$K_{\max} = F\sigma_b \sqrt{\pi.a/2}$$

$$= 0,728.438,893 \sqrt{3,14.0,6}$$

$$= 13,87 \text{ MPa} \sqrt{m}$$

- $da/dN$

$$da/dN = \frac{a_{n+1} - a_n}{N_{n+1} - N_n}$$

$$= \frac{1,2 - 1,15}{1915000 - 1900000}$$

$$= 0,0000033 \text{ mm/siklus}$$

### 3. Setelah Overload

- Tegangan bending

$$\sigma_B = \frac{W.L.16}{\pi.D^3}$$

$$= \frac{35.420.16}{3,14.8^3}$$

$$= \frac{235200}{1607,68}$$

$$= 146,298 \text{ MPa}$$

- Faktor Intensitas Tegangan

$$K_{\max} = F\sigma_b \sqrt{\pi.a/2}$$

$$= 0,728.146,298 \sqrt{3,14.3,05}$$

$$= 10,42 \text{ MPa} \sqrt{m}$$

- $da/dN$

$$da/dN = \frac{a_{\max} - a_{\min}}{N_{\max} - N_{\min}}$$

$$= \frac{6,1 - 4}{2915000 - 2865000}$$

$$= 0,000042 \text{ mm/siklus}$$

## 4.2. Pembahasan

Pada gambar 4.1 dan 4.2 ditunjukkan bahwa *delay*, perlambatan dan percepatan rambat retak dipengaruhi oleh *bending overload* dan panjang retak saat *overload*. *Bending overload* dan panjang retak saat *overload* akan mempengaruhi *plastic zone* (daerah plastis) di ujung retak. Besar *plastic zone* dihitung dengan menggunakan rumus:

$$r_0 = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{K}{\sigma_y} \right)^2$$

Dengan  $r_0 = \text{Plastic zone (mm)}$

$K = \text{Faktor intensitas tegangan (MPa}\sqrt{\text{m)}}$

$\sigma_y = \text{Tegangan yield (ST70 = 550 MPa)}$

Dari rumus diatas menunjukkan bahwa semakin besar faktor intensitas tegangan maka *plastic zone* juga akan semakin meningkat. Berikut adalah perhitungan *plastic zone* berdasarkan data yang didapat dari penelitian.

### 1. Tanpa Perlakuan

#### a. Panjang Retak = 1,15 mm

$$K = 4,53 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

$$\sigma_y = 360 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} r_0 &= \frac{1}{2\pi} \left( \frac{K}{\sigma_y} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2\pi} \left( \frac{4,53}{360} \right)^2 \\ &= 0,0000252 \text{ m} \\ &= 0,0252 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### b. Panjang Retak = 1,65 mm

$$K = 5,42 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

$$\sigma_y = 360 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} r_0 &= \frac{1}{2\pi} \left( \frac{K}{\sigma_y} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2\pi} \left( \frac{5,42}{360} \right)^2 \\ &= 0,0000361 \text{ m} \end{aligned}$$

$$= 0,0361 \text{ mm}$$

2. *Overload 70 N*

$$\text{Panjang Retak} = 1,15 \text{ mm}$$

$$K = 9,05 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

$$\sigma_y = 360 \text{ MPa}$$

$$r_0 = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{K}{\sigma_y} \right)^2$$

$$= \frac{1}{2\pi} \left( \frac{9,05}{360} \right)^2$$

$$= 0,0001006 \text{ m}$$

$$= 0,1006 \text{ mm}$$

3. *Overload 70 N*

$$\text{Panjang Retak} = 1,65 \text{ mm}$$

$$K = 10,84 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

$$\sigma_y = 360 \text{ MPa}$$

$$r_0 = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{K}{\sigma_y} \right)^2$$

$$= \frac{1}{2\pi} \left( \frac{10,84}{360} \right)^2$$

$$= 0,0001444 \text{ m}$$

$$= 0,1444 \text{ mm}$$

4. *Overload 70 N*

$$\text{Panjang Retak} = 1,15 \text{ mm}$$

$$K = 13,58 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

$$\sigma_y = 360 \text{ MPa}$$

$$r_0 = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{K}{\sigma_y} \right)^2$$

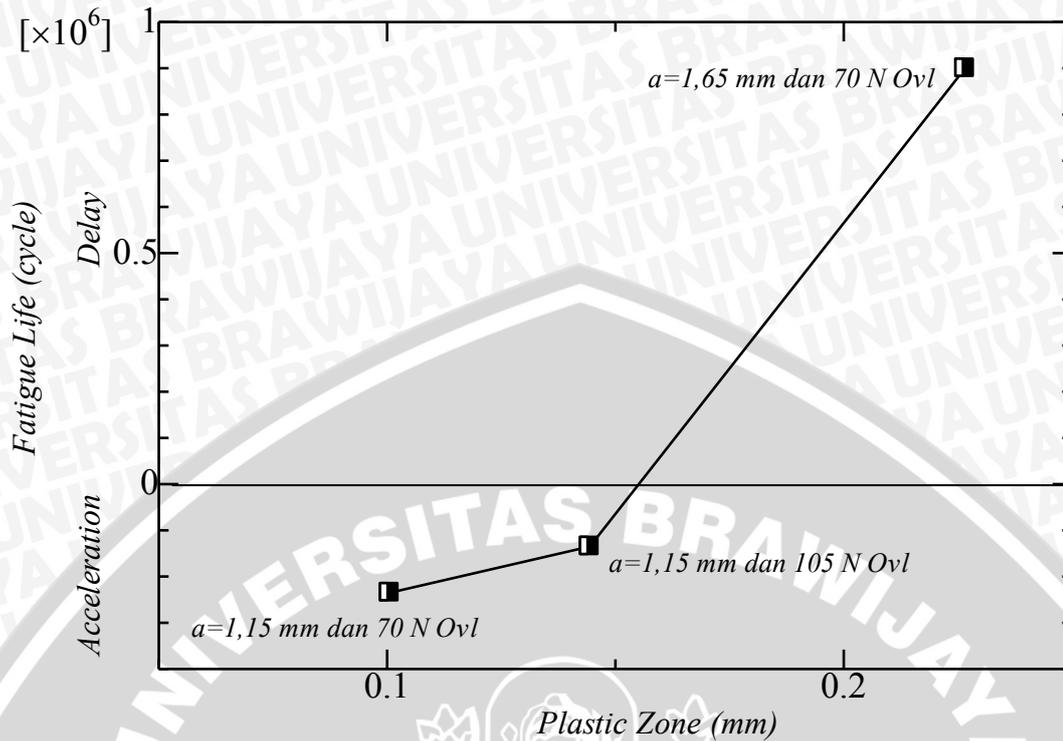
$$= \frac{1}{2\pi} \left( \frac{13,58}{360} \right)^2$$

$$= 0,0002266 \text{ m}$$

$$= 0,2266 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat dibuat grafik seperti pada gambar 4.10 dibawah ini.





Gambar 4.10. Grafik hubungan antara *plastic zone* dengan pertambahan (*delay*) dan pengurangan (*acceleration*) pada umur *fatigue*.

Gambar 4.10 diatas menunjukkan bahwa semakin besar *plastic zone* maka penambahan umur *fatigue* juga akan semakin besar, hal ini sesuai dengan pendapat dari Makabe C, Anindito P, Mc Evily dan kawan-kawan, yang mana jika pada kondisi di daerah plastis (*plastic zone*) mempunyai *compressive residual stress* maka umur retak *fatigue* akan semakin bertambah, akan tetapi jika besar *plastic zone* semakin kecil maka penambahan umur retak *fatigue* juga semakin kecil.

Pada penelitian ini ditemukan bahwa semakin kecil ukuran *plastic zone*, umur retak *fatigue* semakin berkurang atau umurnya lebih pendek dibandingkan dengan tanpa *overload*. Fenomena ini berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Makabe C, Anindito P, Mc Evily dan kawan-kawan, yang mana pada hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran *plastic zone* akan menyebabkan penambahan umur juga semakin kecil tetapi tidak menyebabkan pemendekan umur. Sampai saat ini, adanya pemendekan umur ini masih belum diketahui penyebabnya.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengamatan dan analisa grafik hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa pemberian *bending overload* yang diberikan dengan variasi panjang retak saat *overload* akan mempengaruhi *plastic zone* (daerah plastis) di ujung retak dan tegangan sisa yang terjadi. Semakin besar *plastic zone* maka penambahan umur *fatigue* juga akan semakin besar dan terjadinya tegangan sisa tekan (*Compressive Residual stress*) maka umur *fatigue* juga akan bertambah. Hal ini dikarenakan adanya perlambatan laju perambatan retak ( $da/dN$ ). Selain itu, berbagai tingkatan *overload* akan mempengaruhi besar jumlah siklus *delay*. Jumlah siklus *delay* yang paling lama dengan *bending overload* 70 N dan panjang retak saat *overload* 1,65 mm yaitu sebesar 900000 siklus. Oleh sebab itu, *bending overload* yang diberikan dengan variasi panjang retak saat *overload* akan mempengaruhi umur poros pejal. Umur poros pejal yang paling lama dengan *bending overload* 70 N dan panjang retak saat *overload* 1,65 mm yaitu 4015000 siklus.

#### 5.2. Saran

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi *bending overload* dan panjang retak saat *overload* yang berbeda.
- Perlu dilakukan penelitian dengan batasan yang berbeda seperti dimensi poros, temperatur poros, mode bukaan retak, bentuk pembebanan yang diberikan, korosi yang terjadi dan lain-lain.
- Diharapkan ada penelitian selanjutnya yang lebih mendalam mengenai *overload*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al Fatah, Adiwira. 2009. *Analisa Faktor Intensitas Tegangan Efektif di daerah Ujung Retak Akibat Bending Overload dengan Variasi Panjang Retak pada Silinder Pejal*, Skripsi Tidak Diterbitkan. Malang: Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
- ASM Handbook, Volume 19, *Fatigue and Fracture*. 1996
- Bannantine, J. A. 1990. *Fundamental of metal Fatigue Analysis*. New Jersey: Prentice Hall Englewood Cliffs.
- Broek, David. 1982. *Elementary Engineering Fracture Mechanics*. Boston: Martinus Nijhoff Publishers.
- Budynas, R. G. 1999. *Advanced Strength and applied Stress Analysis*, second edition. Singapore: Mc. Graw Hill.
- Dieter, G. E. 1988. *Mechanical Metallurgy*. Japan: McGraw-Hill Book Company.
- Dowling, Norman E. 1998. *Mechanical Behaviour of Materials*. Prentice Hall.
- Du Quesnay, D. L. 2001, *Mechanical Behaviour of Advanced Material*. Canada: Mechanical and Material Engineering, Queen's University.
- Himami H. P., M. Robith. 2008. *Pengaruh Stress Ratio dan Tegangan Maksimum Beban Siklus Terhadap Kondisi Residual Stress di Daerah Ujung Retak pada Model Center Crack Specimen 3-Dimensi*, Skripsi Tidak Diterbitkan. Malang: Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
- Jensen Albert, Chenoweth Harry H. 1991. *Kekuatan Bahan Terapan*. Erlangga.
- Makabe, C., Purnowidodo, A. 2004. *The Crack Growth Behaviour After Overloading on Solid Round Bar*.
- Makabe, C., Purnowidodo, A. and McEvily, A. J. 2004. *Effects of Surface Deformation and Crack Closure on Fatigue Crack Propagation after Overloading and Underloading*, Volume 26.
- Makabe, C., Purnowidodo, A., Miyazaki T. and McEvily, A. J. 2005. *Deceleration and Acceleration of Crack Propagation after an Overloading Under negative Baseline Stress Ratio*, Volume 33.

McEvily, A. J., Yang Z. 1990. *The Nature of The Two Opening Levels Following an Overload in Fatigue Crack Growth*, Volume 21A.

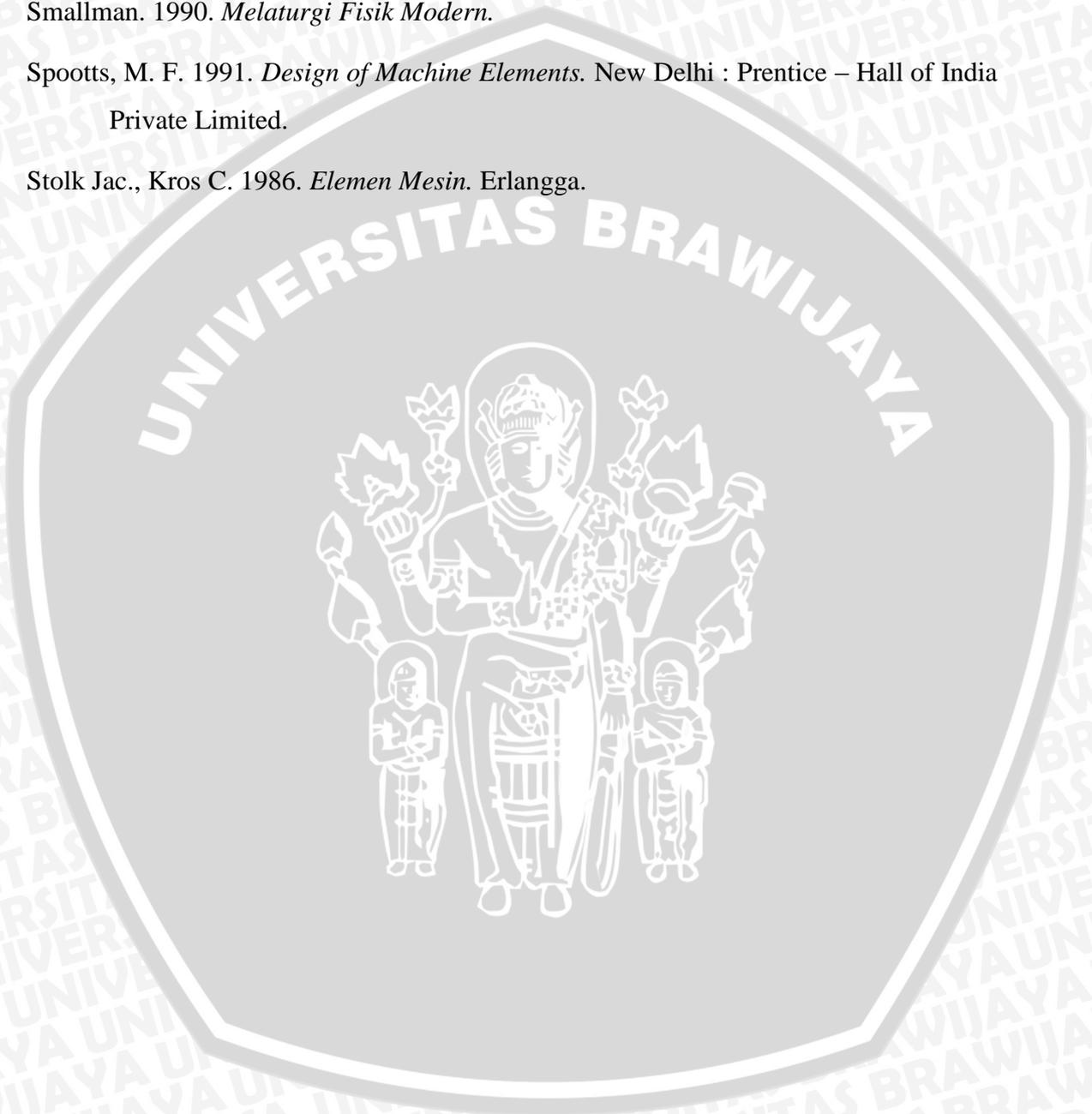
Physique and Industry-Research under contract, *Residual Stress Theory*, 2004

Popov E. P. 1989. *Mekanika Teknik*. Erlangga.

Smallman. 1990. *Melaturgi Fisik Modern*.

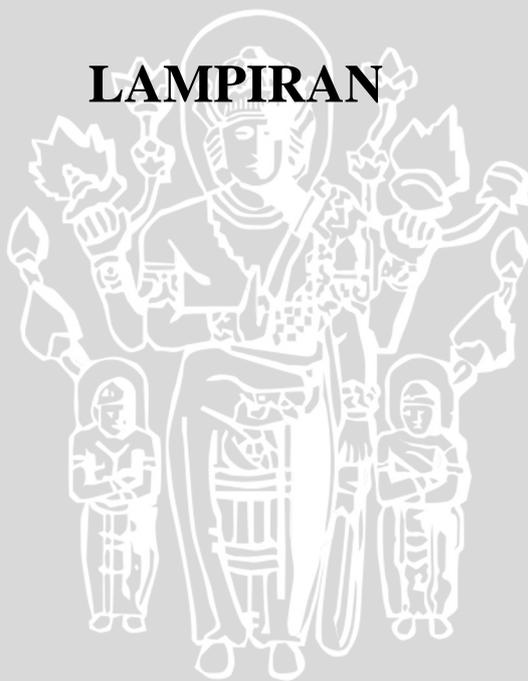
Spoots, M. F. 1991. *Design of Machine Elements*. New Delhi : Prentice – Hall of India Private Limited.

Stolk Jac., Kros C. 1986. *Elemen Mesin*. Erlangga.



# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

## LAMPIRAN



Lampiran 1. Tegangan bending ( $S_b$ )

Gaya (N)	L (mm)	d (mm)	$S_b$ (MPa)
35	420	8	146,3
70	420	8	292,6
105	420	8	438,9

Lampiran 2. Data hasil pengujian dan perhitungan untuk spesimen tanpa *overload*.

$N$ (siklus)	Panjang Retak (mm)	$K$ (Mpa $\sqrt{m}$ )	$da/dN$ (mm/siklus)
50000	0,76	3,68	
100000	0,77	3,70	0,0000002
150000	0,79	3,75	0,0000004
200000	0,79	3,75	
250000	0,8	3,77	0,0000002
300000	0,81	3,80	0,0000002
350000	0,82	3,82	0,0000002
400000	0,83	3,84	0,0000002
450000	0,84	3,87	0,0000002
500000	0,84	3,87	
550000	0,85	3,89	0,0000002
600000	0,86	3,91	0,0000002
650000	0,87	3,94	0,0000002
700000	0,88	3,96	0,0000002
750000	0,88	3,96	
800000	0,9	4,00	0,0000004
850000	0,9	4,00	
900000	0,91	4,03	0,0000002
950000	0,92	4,05	0,0000002
1000000	0,92	4,05	
1050000	0,93	4,07	0,0000002
1100000	0,94	4,09	0,0000002
1150000	0,95	4,11	0,0000002
1200000	0,96	4,13	0,0000002

1250000	0,96	4,13	
1300000	0,97	4,16	0,0000002
1350000	0,97	4,16	
1400000	0,99	4,20	0,0000004
1450000	1	4,22	0,0000002
1500000	1,02	4,26	0,0000004
1550000	1,04	4,30	0,0000004
1600000	1,05	4,32	0,0000002
1650000	1,06	4,34	0,0000002
1700000	1,07	4,37	0,0000002
1750000	1,09	4,41	0,0000004
1800000	1,1	4,43	0,0000002
1850000	1,12	4,47	0,0000004
1900000	1,13	4,49	0,0000002
2000000	1,15	4,53	0,0000002
2050000	1,17	4,56	0,0000004
2100000	1,18	4,58	0,0000002
2150000	1,2	4,62	0,0000004
2200000	1,22	4,66	0,0000004
2250000	1,24	4,70	0,0000004
2300000	1,27	4,76	0,0000006
2350000	1,29	4,79	0,0000004
2400000	1,33	4,87	0,0000008
2450000	1,37	4,94	0,0000008
2500000	1,41	5,01	0,0000008
2550000	1,45	5,08	0,0000008
2600000	1,49	5,15	0,0000008
2650000	1,53	5,22	0,0000008
2700000	1,57	5,29	0,0000008
2750000	1,61	5,35	0,0000008
2800000	1,66	5,44	0,0000010
2850000	1,73	5,55	0,0000014

2900000	1,82	5,69	0,0000018
2950000	1,94	5,88	0,0000024
3000000	2,26	6,34	0,0000064
3050000	2,7	6,93	0,0000088
3100000	3,5	7,90	0,0000160
3150000	4,58	9,03	0,0000216
3200000	5,71	10,08	0,0000226

Lampiran 3. Data hasil pengujian dan perhitungan untuk spesimen dengan *bending overload* 70 N dan panjang retak saat *overload* 1,15 mm.

<b>N (siklus)</b>	<b>Panjang Retak (mm)</b>	<b>K (Mpa√m)</b>	<b>da/dN (mm/siklus)</b>
50000	0,77	3,70	
100000	0,78	3,73	0,0000002
150000	0,78	3,73	
200000	0,79	3,75	0,0000002
250000	0,79	3,75	
300000	0,8	3,77	0,0000002
350000	0,8	3,77	
400000	0,81	3,80	0,0000002
450000	0,81	3,80	
500000	0,81	3,80	
550000	0,82	3,82	0,0000002
600000	0,83	3,84	0,0000002
650000	0,83	3,84	
700000	0,84	3,87	0,0000002
750000	0,85	3,89	0,0000002
800000	0,86	3,91	0,0000002
850000	0,87	3,94	0,0000002
900000	0,88	3,96	0,0000002
950000	0,89	3,98	0,0000002
1000000	0,89	3,98	
1050000	0,9	4,00	0,0000002
1100000	0,91	4,03	0,0000002
1150000	0,92	4,05	0,0000002
1200000	0,92	4,05	
1250000	0,94	4,09	0,0000004
1300000	0,95	4,11	0,0000002
1350000	0,96	4,13	0,0000002
1400000	0,97	4,16	0,0000002

1450000	0,98	4,18	0,0000002
1500000	0,98	4,18	
1550000	0,99	4,20	0,0000002
1600000	1	4,22	0,0000002
1650000	1,01	4,24	0,0000002
1700000	1,02	4,26	0,0000002
1750000	1,02	4,26	
1800000	1,03	4,28	0,0000002
1850000	1,04	4,30	0,0000002
1900000	1,15	4,53	0,0000022
1915000	1,18	9,17	0,0000020
1916000	1,18	4,58	
1918000	1,18	4,58	
1920000	1,18	4,58	
1925000	1,18	4,58	
1935000	1,18	4,58	
1945000	1,18	4,58	
1955000	1,19	4,60	0,0000010
1965000	1,19	4,60	
2015000	1,19	4,60	
2065000	1,2	4,62	0,0000002
2115000	1,23	4,68	0,0000006
2165000	1,26	4,74	0,0000006
2215000	1,28	4,77	0,0000004
2265000	1,3	4,81	0,0000004
2315000	1,34	4,89	0,0000008
2365000	1,4	4,99	0,0000012
2415000	1,46	5,10	0,0000012
2465000	1,55	5,25	0,0000018
2515000	1,8	5,66	0,0000050
2565000	2,5	6,67	0,0000140

Lampiran 4. Data hasil pengujian dan perhitungan untuk spesimen dengan *bending overload* 70 N dan panjang retak saat *overload* 1,65 mm.

<i>N</i> (siklus)	Panjang Retak (mm)	<i>K</i> (Mpa√m)	<i>da/dN</i> (mm/siklus)
50000	0,77	3,70	
100000	0,78	3,73	0,0000002
150000	0,78	3,73	
200000	0,79	3,75	0,0000002
250000	0,8	3,77	0,0000002
300000	0,81	3,80	0,0000002
350000	0,82	3,82	0,0000002

400000	0,82	3,82	
450000	0,83	3,84	0,0000002
500000	0,84	3,87	0,0000002
550000	0,85	3,89	0,0000002
600000	0,86	3,91	0,0000002
650000	0,86	3,91	
700000	0,87	3,94	0,0000002
750000	0,88	3,96	0,0000002
800000	0,89	3,98	0,0000002
850000	0,89	3,98	
900000	0,9	4,00	0,0000002
950000	0,92	4,05	0,0000004
1000000	0,94	4,09	0,0000004
1050000	0,95	4,11	0,0000002
1100000	0,97	4,16	0,0000004
1150000	0,98	4,18	0,0000002
1200000	0,99	4,20	0,0000002
1250000	1	4,22	0,0000002
1300000	1	4,22	
1350000	1,01	4,24	0,0000002
1400000	1,02	4,26	0,0000002
1450000	1,03	4,28	0,0000002
1500000	1,04	4,30	0,0000002
1550000	1,06	4,34	0,0000004
1600000	1,08	4,39	0,0000004
1650000	1,09	4,41	0,0000002
1700000	1,1	4,43	0,0000002
1750000	1,13	4,49	0,0000006
1800000	1,15	4,53	0,0000004
1850000	1,16	4,55	0,0000002
1900000	1,18	4,58	0,0000004
1950000	1,19	4,60	0,0000002
2000000	1,2	4,62	0,0000002
2050000	1,2	4,62	
2100000	1,22	4,66	0,0000004
2150000	1,23	4,68	0,0000002
2200000	1,25	4,72	0,0000004
2250000	1,26	4,74	0,0000002
2300000	1,27	4,76	0,0000002
2350000	1,27	4,76	
2400000	1,29	4,79	0,0000004
2450000	1,34	4,89	0,0000010

2500000	1,39	4,98	0,0000010
2550000	1,46	5,10	0,0000014
2600000	1,46	5,10	
2650000	1,53	5,22	0,0000014
2700000	1,58	5,30	0,0000010
2750000	1,6	5,34	0,0000004
2800000	1,65	5,42	0,0000010
2815000	1,76	11,20	0,0000073
2816000	1,77	5,61	0,0000100
2818000	1,77	5,61	
2820000	1,77	5,61	
2825000	1,77	5,61	
2835000	1,78	5,63	0,0000010
2845000	1,78	5,63	
2855000	1,78	5,63	
2865000	1,79	5,65	0,0000010
2915000	1,79	5,65	
2965000	1,8	5,66	0,0000002
3015000	1,83	5,71	0,0000006
3065000	1,86	5,76	0,0000006
3115000	1,89	5,80	0,0000006
3165000	1,93	5,86	0,0000008
3215000	1,94	5,88	0,0000002
3265000	1,98	5,94	0,0000008
3315000	2,02	6,00	0,0000008
3365000	2,04	6,03	0,0000004
3415000	2,08	6,09	0,0000008
3465000	2,12	6,14	0,0000008
3515000	2,18	6,23	0,0000012
3565000	2,25	6,33	0,0000014
3615000	2,32	6,43	0,0000014
3665000	2,43	6,58	0,0000022
3715000	2,67	6,90	0,0000048
3765000	3	7,31	0,0000066
3815000	3,4	7,78	0,0000080
3865000	3,9	8,33	0,0000100
3915000	4,5	8,95	0,0000120
3965000	5,4	9,81	0,0000180
4015000	6,5	10,76	0,0000220

Lampiran 5. Data hasil pengujian dan perhitungan untuk spesimen dengan *bending overload* 105 N dan panjang retak saat *overload* 1,15 mm.

<i>N</i> (siklus)	Panjang Retak (mm)	<i>K</i> (Mpa $\sqrt{m}$ )	<i>da/dN</i> (mm/siklus)
50000	0,75	3,65	
100000	0,76	3,68	0,0000002
150000	0,76	3,68	
200000	0,78	3,73	0,0000004
250000	0,78	3,73	
300000	0,79	3,75	0,0000002
350000	0,8	3,77	0,0000002
400000	0,8	3,77	
450000	0,81	3,80	0,0000002
500000	0,81	3,80	
550000	0,82	3,82	0,0000002
600000	0,82	3,82	
650000	0,83	3,84	0,0000002
700000	0,83	3,84	
750000	0,84	3,87	0,0000002
800000	0,85	3,89	0,0000002
850000	0,85	3,89	
900000	0,86	3,91	0,0000002
950000	0,87	3,94	0,0000002
1000000	0,87	3,94	
1050000	0,88	3,96	0,0000002
1100000	0,89	3,98	0,0000002
1150000	0,9	4,00	0,0000002
1200000	0,91	4,03	0,0000002
1250000	0,92	4,05	0,0000002
1300000	0,92	4,05	
1350000	0,93	4,07	0,0000002
1400000	0,94	4,09	0,0000002
1450000	0,95	4,11	0,0000002
1500000	0,95	4,11	
1550000	0,96	4,13	0,0000002
1600000	0,97	4,16	0,0000002
1650000	0,98	4,18	0,0000002
1700000	0,99	4,20	0,0000002
1750000	1,01	4,24	0,0000004
1800000	1,01	4,24	
1850000	1,02	4,26	0,0000002
1900000	1,15	4,53	0,0000026
1915000	1,2	13,87	0,0000033
1916000	1,2	4,62	
1918000	1,2	4,62	

1920000	1,2	4,62	
1925000	1,21	4,64	0,0000020
1935000	1,22	4,66	0,0000010
1945000	1,22	4,66	
1955000	1,22	4,66	
1965000	1,24	4,70	0,0000020
2015000	1,25	4,72	0,0000002
2065000	1,26	4,74	0,0000002
2115000	1,27	4,76	0,0000002
2165000	1,28	4,77	0,0000002
2215000	1,29	4,79	0,0000002
2265000	1,31	4,83	0,0000004
2315000	1,33	4,87	0,0000004
2365000	1,35	4,90	0,0000004
2415000	1,37	4,94	0,0000004
2465000	1,4	4,99	0,0000006
2515000	1,45	5,08	0,0000010
2565000	1,5	5,17	0,0000010
2615000	1,57	5,29	0,0000014
2665000	1,66	5,44	0,0000018
2715000	1,84	5,72	0,0000036
2765000	2,4	6,54	0,0000112
2815000	3,2	7,55	0,0000160
2865000	4	8,44	0,0000160
2915000	6,1	10,42	0,0000420

Lampiran 6. Jumlah siklus *delay* untuk berbagai macam perlakuan

1,15 mm

<b>Gaya (N)</b>	<b>Ndelay (Siklus)</b>
35	0
70	-235000
105	-135000

1,65 mm

<b>Gaya (N)</b>	<b>Ndelay (Siklus)</b>
35	0
70	900000

